



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

Evaluación de la Amenaza por Inundación del Río Ariguaní en el Área Urbana del Municipio Algarrobo

—Departamento del Magdalena—

Armando Orozco Jiménez

Jhon Jaime Vargas Murillo

Tima Cecilia Martínez Monroy

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ciencia y Tecnología

Bogotá

2025



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

Evaluación de la Amenaza por Inundación del Río Ariguaní en el Área Urbana del Municipio Algarrobo

—Departamento del Magdalena—

Armando Orozco Jiménez

Jhon Jaime Vargas Murillo

Tima Cecilia Martínez Monroy

Trabajo de Grado Para Optar el Título de Magister en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Dirigido por:

PhD. Jaime Andrés Moreno Miranda

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ciencia y Tecnología

Bogotá

2025



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

NOTA

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

BOGOTÁ DC

2025

NOTA DE ACEPTACION:



Dedicatoria

Jhon J. Vargas Murillo

Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, fuente de sabiduría y fortaleza; a mi esposa, por su amor y constante apoyo; y a mis padres, por enseñarme el valor del esfuerzo y la disciplina para alcanzar mis metas.

Tima Martínez Monroy

A Dios por concederme la vida, la salud, la fuerza, la perseverancia para seguir aprendiendo, superándome y creciendo como persona. A mis padres, esposo, hijas y hermanos que me acompañaron y animaron en este camino académico y me brindan su amor y apoyo incondicional.

Armando Orozco Jiménez

Dedico este trabajo a Dios, quien desde el primer momento de mi vida ha estado conmigo en cada paso y en cada batalla, quien me ha fortalecido en medio de las dificultades y el cual es la fuente de mi inspiración y mi motivación, que con su luz me ha guiado en los momentos más oscuros y quien bendice mis caminos y cada triunfo que me ha sido otorgado por su infinito amor. También quiero expresar mi profundo reconocimiento a mis familiares y seres queridos. A todos estos les agradezco infinitamente por su apoyo incondicional, sus sabios consejos y palabras de aliento.

Agradecimientos

Jhon Vargas Murillo

Agradezco a Dios por la sabiduría necesaria para realizar este trabajo. Su guía ha sido esencial en cada etapa de este proceso, permitiéndome superar las adversidades y avanzar con determinación. A mi familia y esposa, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental para el éxito en este proyecto.

Tima Martinez Monroy

A Dios por guiarme y darme la fortaleza necesaria para seguir adelante. A mi familia por su comprensión, paciencia y estímulo constante en este proceso académico. A nuestro director de proyecto por sus aportes y valiosos consejos. A nuestros compañeros por compartir esta experiencia y por su apoyo.

Armando Orozco

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a nuestro Creador, por brindarme la oportunidad de acceder a esta maestría, así como por darme paciencia y la sabiduría necesaria para superar los desafíos que se presentaron a lo largo de este camino. Su constante guía ha sido una fuente inagotable de fortaleza; reconozco que, sin Él, este logro no habría sido posible. Su apoyo espiritual fue fundamental para enfrentar los momentos de duda, permitiéndome avanzar con fe y determinación.

A la Universidad Santo Tomás, a mis mentores y compañeros, les agradezco por compartir su vasto conocimiento y por su dedicación en mi formación académica. Cada lección impartida ha dejado una huella imborrable en mi desarrollo, tanto profesional como personal.



Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
1. Planteamiento del Problema	14
2. Objetivos	16
2.1. Objetivo General.....	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. Justificación.....	17
4. Marco Referencial.....	19
4.2. Investigaciones Referentes.....	22
4.3.3. Análisis Estadístico de Estaciones hidrometeorológicas	27
4.3.4. Análisis de Precipitaciones	28
4.3.8. Modelación Hidrodinámica	34
4.4. Referentes Modelo Participativo.....	36
4.5. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para Generación de Mapas de Amenaza	37
4.6. Marco Legal	39
5. Metodología.....	41
5.1. Método de Investigación.....	41
5.2. Diseño	41
6. Resultados.....	57
6.1. Resultados de la Evaluación de Amenaza a partir de Cartografía Social.....	57
6.2. Resultados Modelación Hidrodinámica.....	65
Discusión	81
Conclusiones	85
Recomendaciones.....	86
Referencias Bibliográficas	88
Lista de Anexos	94



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

Lista de Tablas

Tabla 1.	22
Tabla 2	39
Tabla 3.	44
Tabla 4	50
Tabla 5	51
Tabla 6	55
Tabla 7	59
Tabla 8	66
Tabla 9	68
Tabla 10	68
Tabla 11	77

Lista de Figuras

Figura 1	21
Figura 2	21
Figura 3.	43
Figura 4	46
Figura 5.	49
Figura 6.	55
Figura 7	57
Figura 8	62
Figura 9	63
Figura 10	64
Figura 11	67
Figura 12	67
Figura 13	69
Figura 14	70
Figura 15	71
Figura 16	74
Figura 17	75
Figura 18	76

Lista de Acrónimos

Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT: Denominación dada en la Ley 388 de 1997 a los instrumentos básicos para el desarrollo del proceso de ordenamiento elaborados y adoptados por los municipios con población inferior a los 30.000 habitantes.

FEMA: Agencia Federal para la Gestión de Emergencias.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

IPCC: es el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, un organismo científico de las Naciones Unidas que evalúa la ciencia relacionada con el cambio climático.

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, responsable de la gestión ambiental en el país.

SIG (Sistemas de Información Geográfica): Herramientas que permiten capturar, almacenar, analizar y mostrar datos geoespaciales.

UNDRR: Oficina de las Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres, dedicada a la gestión de riesgos de desastres a nivel global.

UNISDR: Oficina de las Naciones Unidas para la reducción

Resumen

La investigación tiene como objetivo la evaluación de la amenaza natural por inundación del cauce del río Ariguaní. Está enfocada en un sector del área urbana del municipio de Algarrobo. Se considera que es un insumo importante para la gestión integral del riesgo del municipio. A ser considerado en los estudios básicos de riesgo el Esquema de Ordenamiento Territorial que a la fecha se encuentra desactualizado.

El estudio comprende la aplicación de dos metodologías para la determinación de la amenaza. La primera metodología incorpora el conocimiento local mediante el uso de herramientas participativas, referente a cotas y sitios de inundación a partir de la experiencia de los habitantes. La segunda metodología aborda el análisis hidrodinámico a partir de los datos históricos de caudales usando softwares especializados para la modelación matemática y geoestadística.

Finalmente, el trabajo evalúa la amenaza por inundación en la zona urbana del municipio a través de la construcción del mapa de zonificación de la amenaza natural por inundaciones en los barrios de Algarrobo, describiendo las categorías y los porcentajes de exposición de los barrios frente a este fenómeno.

Palabras claves: amenaza por inundación, municipio de Algarrobo, río Ariguaní, Planificación, gestión del riesgo.

Abstract

The objective of the research is to evaluate the natural threat of flooding of the Ariguaní River. It is focused on a sector of the urban area of the municipality of Algarrobo. It is considered to be an important input for the comprehensive risk management of the municipality. The Territorial Planning Scheme, which is currently outdated, must be considered in the basic risk studies.

The study includes the application of two methodologies for determining the threat. The first methodology incorporates local knowledge through the use of participatory tools regarding flood levels and sites from the imagination and experience of the inhabitants. The second methodology addresses hydraulic analysis based on historical flow data using specialized software for mathematical and geostatistical modeling.

Finally, the study provides a comparative analysis that validates the use of community information vs. analytical information.

Keywords: flood threat, Algarrobo municipality, Ariguaní River, Planning, risk management.

Introducción

Las inundaciones se definen como: Desbordamientos temporales de agua sobre terrenos que normalmente están secos (FEMA, 2017). Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua (OMM & UNESCO, 2012). Emplazamiento paulatino o violento de las aguas y sedimentos en cantidades abundantes sobre una determinada superficie que normalmente no está sumergida, con duración, frecuencia, magnitud e intensidad determinada por la interacción entre el tipo de inundación y las características morfoestructurales y culturales del lugar (Flórez & Suavita Bejarano, 1997). Este fenómeno puede ser provocado por diversas razones como son: fuertes precipitaciones, deshielos, tormentas tropicales o tsunamis, entre otros factores.

Los efectos negativos de las inundaciones se han acentuado debido al incremento de las poblaciones y sus actividades socioeconómicas en las márgenes de ríos y demás cuerpos de agua (IDEAM, 2017). Estas áreas presentan una dinámica hidrológica natural correspondiente a épocas de aguas altas y bajas, acentuada y acelerada por el cambio climático que intensifica los eventos extremos.

Las inundaciones representan uno de fenómenos naturales más comunes y devastadores en el mundo contemporáneo (UNISDR, 2015). Los impactos de las inundaciones son diversos y generalizados, afectan a los seres humanos, la infraestructura, la economía y el medio ambiente. Este fenómeno puede provocar desplazamientos masivos de población y problemas de salud pública, como la propagación de enfermedades transmitidas por el agua. A nivel económico, las inundaciones pueden causar daños a la infraestructura clave, interrumpir las actividades comerciales y agrícolas, y provocar costos significativos de recuperación y reconstrucción.

Los impactos ambientales de las inundaciones pueden incluir la erosión del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de hábitats naturales, lo que afecta la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (UNDRR, 2019).

Según el IDEAM (2019) las inundaciones en Colombia han generado estragos en muchas regiones del país, afectando a miles de personas y causando daños materiales incalculables en cada época de lluvias, en especial lo referente fenómenos de la niña.

El IPCC (2014), afirma que el cambio climático está acelerando el problema de las inundaciones al intensificar los eventos climáticos extremos y aumentar la frecuencia de las lluvias torrenciales en algunas regiones del país. Estas situaciones propician conflictos medioambientales que dificultan el desarrollo humano de ciertas regiones del país, contribuyen en la proliferación de cinturones de pobreza y miseria que agudizan la problemática de las inundaciones. Además, se rodean de problemas como las enfermedades de origen hídrico, desplazamientos de la población y otros conflictos hidrosociales.

La cabecera urbana de Algarrobo se encuentra expuesta a niveles de inundación debido a su localización geográfica, incremento poblacional y factores ambientales característicos. El problema de inundaciones en el municipio ha sido persistente y ha generado grandes afectaciones a la población y a la infraestructura. A pesar de esto a la fecha no se cuenta con estudios actualizados y ajustados a la normatividad colombiana que permitan evaluar la amenaza.

El presente documento de evaluación de la amenaza por inundación del río Ariguaní en el área urbana del municipio de Algarrobo, departamento del Magdalena, se estructura en seis capítulos.

El Capítulo 1 expone el planteamiento del problema, a partir del cual se definen en el Capítulo 2 el objetivo general y los objetivos específicos del estudio. En el Capítulo 3 se presenta la justificación, donde se argumenta la importancia de realizar esta evaluación.

El Capítulo 4 desarrolla el Marco de Referencia, iniciando con una descripción geográfica del municipio. A continuación, se abordan investigaciones previas relevantes, seguidas por la fundamentación teórica relacionada con la modelación hidráulica y participativa. Finalmente, se expone el Marco Legal, en

el que se mencionan las principales normas colombianas aplicables al tema.

En el Capítulo 5 se describe la Metodología del estudio, incluyendo el método de investigación, el diseño, así como los procedimientos aplicados para la modelación de inundaciones, tanto desde el conocimiento local como mediante simulación hidrodinámica.

El Capítulo 6 presenta los Resultados obtenidos, iniciando con la modelación de la amenaza por inundación con enfoque participativo. En esta sección se incluyen los mapas de amenaza generados a partir de cartografía social y representaciones comunitarias de cotas de inundación registradas en campo y un mapa comparativo entre ambos enfoques.

La modelación hidrodinámica se desarrolla a partir del análisis de datos históricos de caudales del río Ariguaní y de estaciones hidrometeorológicas cercanas, suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Esta modelación se realiza para distintos periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años), empleando el software HEC-RAS y herramientas SIG, lo que permite obtener mapas de manchas de inundación y por último la correspondiente zonificación de amenaza por inundación, clasificada en cinco niveles según la profundidad y velocidad estimada.

Finalmente, se presenta la Discusión de resultados, seguida de las Conclusiones, Recomendaciones, el listado de Referencias bibliográficas consultadas y listado de anexos.

1. Planteamiento del Problema

Algarrobo es un municipio ribereño del río Ariguaní, localizado en la zona suroriental del departamento del Magdalena. Ha presentado a través del tiempo problemas recurrentes de inundaciones causadas principalmente por crecidas o sobre niveles de este río y por el efecto de las lluvias en gran parte de los barrios del área urbana.

En los datos abiertos de Desinventar se pueden obtener registros para el municipio de Algarrobo sobre eventos de inundación por desbordamiento del río Ariguaní. Los reportes consultados indican que dichos eventos se presentan en los años 1999, 2001, 2005, 2008, 2010, 2011, 2014 y 2017. Los datos más significativos son del año 2011 donde se cuantifican 2000 viviendas dañadas y 10.000 afectadas indirectamente. En el año 2017 se reporta *“afectación en el sitio donde se construye la planta de tratamiento y estación de bombeo del sistema de alcantarillado sanitario de algarrobo. colapsando obras; maquinaria afectada contratada por el municipio para las obras...”*. (UNDRR, 2015).

De acuerdo con el Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT del municipio de Algarrobo (2000), el principal problema de índole ambiental del municipio lo constituyen las inundaciones periódicas a consecuencia del desbordamiento del río Ariguaní. Estas inundaciones afectan el 95 % del casco urbano. Además, señala la importancia del Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográfica – POMCA del río Ariguaní para determinar las acciones de recuperación del cauce de este río. A la fecha este instrumento de planificación ambiental no ha sido formulado por las Autoridades Ambientales competentes (Corpamag – Corpocesar).

Desde el año 2009, el EOT del municipio no ha sido actualizado. Además, no se tienen los estudios básicos y detallados de riesgo para su incorporación al ordenamiento territorial según lo establecido en el Decreto 1077 de 2015 del Ministerio de Vivienda.

La poca e inadecuada planificación y control territorial han contribuido a que en los últimos años

en el municipio aumenten las construcciones de hogares y viviendas en condiciones precarias de servicios e infraestructura básicos en la margen del río. En su mayor parte el crecimiento urbano ha sido espontáneo y producto de invasiones de terrenos y el bajo nivel de inversión social ha incidido en el aumento de cinturones de pobreza en las zonas periféricas de este pequeño municipio. Se carece de programas sociales que contribuyan a la satisfacción de las necesidades básicas de la población asentada.

El escaso conocimiento del fenómeno de inundaciones en el municipio incide en la carencia de programas que permitan la definición de medidas de manejo estructurales y no estructurales que contribuyan a prevenir y mitigar estas afectaciones.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar la amenaza por inundación asociada al desbordamiento del río Ariguaní en el área urbana del municipio de Algarrobo en el departamento del Magdalena, mediante el uso de un modelo participativo y un modelo hidrodinámico.

2.2. Objetivos Específicos

- Construir una representación espacial de la amenaza de inundación del río Ariguaní en el área urbana del municipio de Algarrobo a partir del conocimiento de los pobladores locales.
- Construir una representación espacial de la amenaza de inundación del río Ariguaní en el área urbana del municipio de Algarrobo, para distintos períodos de retorno mediante modelación hidrodinámica.
- Realizar la zonificación de la amenaza de inundación que permita comunicar de manera diferenciada la magnitud del fenómeno para apoyar la toma de decisiones en el territorio.

3. Justificación

La evaluación de la amenaza por inundación del río Ariguaní en el área urbana del municipio de Algarrobo es una valiosa oportunidad para generar conocimiento aplicable a la gestión de riesgos naturales. La cuenca hidrográfica del río Ariguaní donde se localiza el municipio de Algarrobo carece de estudios actualizados sobre este fenómeno natural. Los resultados del proyecto de grado se pueden tener en cuenta en el componente de gestión del riesgo del Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas que a la fecha no se ha formulado por autoridades competentes.

Este estudio constituye una herramienta estratégica para la gestión del riesgo de desastres del municipio ajustada al marco normativo regido en Colombia. Es un insumo actualizado, efectivo y adaptado a las condiciones locales el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio que se encuentra desactualizado y carece de estudio básico de riesgo.

En la zonificación de la amenaza por inundación se obtienen las áreas más susceptibles a sufrir por el fenómeno de inundaciones y desbordamiento en la zona urbana del municipio de Algarrobo. Esta información es necesaria para ser aplicada en el diseño de políticas públicas orientadas a la mitigación de los riesgos por inundación. Este trabajo ofrece una base sólida para la mejora de las políticas de ordenamiento territorial, en este sentido, la investigación contribuye a la resiliencia de las comunidades frente a desastres naturales. Es punto de partida para proponer medidas de preparación, respuesta y recuperación adecuadas, orientadas a la reducción de impactos de las inundaciones y a proteger a la población afectada.

Los resultados de la amenaza por inundación permitirán a las autoridades orientar acciones para la seguridad y el bienestar de los habitantes expuestos a este tipo de eventos naturales. Permite definir medidas de mitigación de impacto para minimizar el riesgo de pérdidas humanas y construcciones. Así mismo, aporta a los procesos de planificación urbana para evitar el desarrollo de viviendas,



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

infraestructuras y servicios públicos en zonas de alta amenaza.

Este trabajo de grado fomenta la participación y la concienciación de la comunidad sobre los riesgos asociados con este fenómeno natural. La incorporación del conocimiento local a través de la cartografía social es un enfoque innovador que permite integrar las percepciones de los habitantes del municipio sobre las áreas más vulnerables a inundaciones. El estudio contempla la recolección de información primaria de los habitantes expuestos a inundaciones.

La comparación de los métodos utilizados en este estudio, tanto los resultados provenientes de la participación comunitaria como de la modelación hidrodinámica, permitirá establecer una validación significativa de las herramientas, lo que aumenta la confiabilidad de los resultados. Este enfoque dual no solo enriquece la comprensión del fenómeno, sino que también facilita la toma de decisiones inclusiva y adaptada a la realidad local.

La metodología de este trabajo de grado puede replicarse en otras zonas del país que enfrenten amenazas similares por inundación y desbordamiento de cauces en zonas urbanas.

4. Marco Referencial

4.1. Marco Geográfico

El municipio de Algarrobo está ubicado en el departamento del Magdalena, en la región Caribe de Colombia. Se localiza a unos 160 kilómetros al sur de la capital departamental, Santa Marta, y a aproximadamente 90 kilómetros de la costa del mar Caribe. Algarrobo se extiende sobre una superficie aproximada de 640 km², en su mayoría compuesta por zonas de llanuras, colinas y áreas de transición hacia las estribaciones de la Sierra Nevada. Su relieve está marcado por varias corrientes hídricas, entre las que destaca el río Ariguani, que atraviesa su territorio, alimentando una serie de microcuencas que son esenciales para la agricultura y la vida local. En la Figura 1 se presenta el área de estudio en el municipio de Algarrobo.

Se destaca la relevancia del sistema orográfico de la Sierra Nevada de Santa Marta para el municipio de Algarrobo, ya que allí se origina el río Ariguani, a una altitud aproximada de 3.200 metros sobre el nivel del mar. Este río presenta un comportamiento torrencial en su parte alta, caracterizado por pendientes pronunciadas y un flujo rápido. Sin embargo, a medida que desciende por el piedemonte, atravesando el departamento del Cesar, su geomorfología se torna más sinuosa y el relieve va disminuyendo en pendiente hasta convertirse en una llanura.

Las condiciones topográficas indicadas propician que, en las zonas bajas del recorrido del río, se presenten desbordamientos frecuentes durante las temporadas de crecientes, afectando a los municipios ubicados en su curso, incluido Algarrobo. En particular, el área urbana de este municipio, situada a una altitud promedio de 45 metros sobre el nivel del mar, se encuentra en una zona de terreno plano que favorece la acumulación de aguas y aumenta la susceptibilidad a inundaciones.

El tramo correspondiente al área de estudio tiene una longitud de 4,22 km, desde la coordenada 10°11'59.45"N, -74° 2'28.03"O hasta 10° 9'52.03"N, -74° 3'52.46"O.

Algarrobo es un municipio con vocación agrícola y pecuaria, el cultivo de la palma de aceite y la ganadería extensiva lideran este sector, también el maíz, la yuca, frijol, arroz, ahuyama y en bajas proporciones hortalizas, cítricos y melón (Alcaldía de Algarrobo, 2000).

Este municipio se encuentra organizado en varias veredas que se extienden en su mayoría hacia el sur, donde la infraestructura vial se ha venido desarrollando lentamente, aunque algunos sectores aún enfrentan dificultades de acceso debido a la falta de pavimentación en ciertas áreas rurales. Las principales vías de comunicación se conectan con los municipios cercanos como Zona Bananera, Aracataca y Ciénaga, permitiendo la circulación de bienes y servicios en la región.

Su población, en su mayoría rural, depende de la agricultura como actividad principal, aunque también se ha venido desarrollando un pequeño sector comercial en su cabecera municipal. A nivel ambiental, Algarrobo cuenta con una biodiversidad notable, especialmente en sus zonas cercanas a la sierra, lo que lo convierte en un punto clave para el estudio de los ecosistemas de la región.

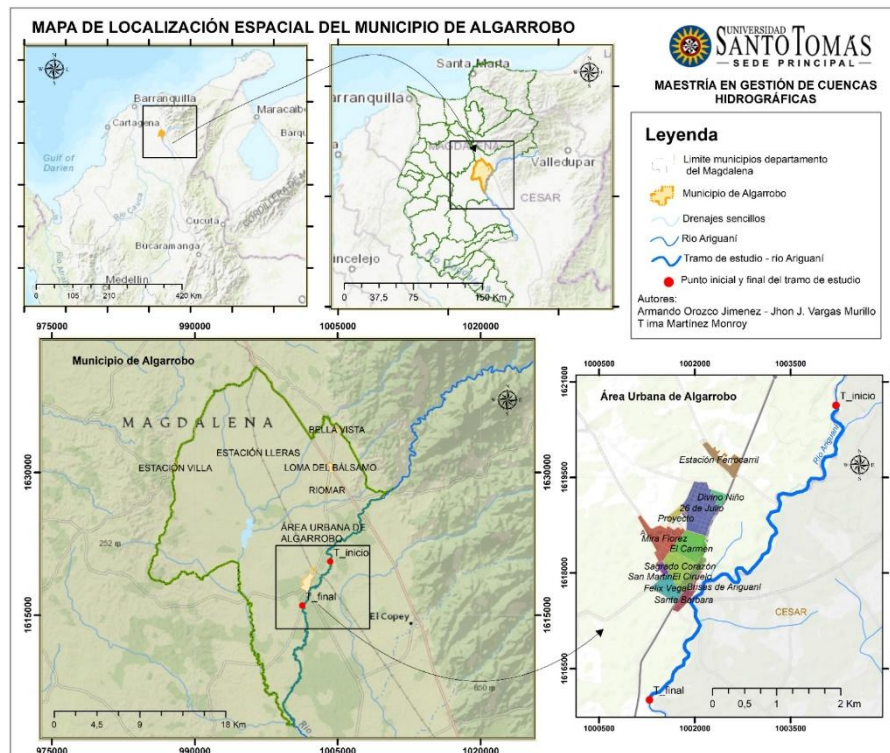
En la Figura 2 se observan fotografías del municipio de Algarrobo que revelan los principales escenarios que caracterizan al municipio, siendo los sitios de mayor significancia para sus habitantes.

Dentro de estos elementos está la fotografía 1, correspondiente a la entrada norte del casco urbano.

Posteriormente la fotografía 2, que corresponde a la plaza principal del municipio donde confluyen las actividades de esparcimiento. De igual modo, la fotografía 3 muestra la vía férrea en área del municipio.

Finalmente, está la fotografía 4, mostrando el fenómeno natural más común del municipio (inundaciones), el cual constituye el foco de interés de la presente investigación, y en la que sus habitantes aportaron información para la generación de un modelo de inundación basados en sus experiencias.

Figura 1



Mapa Área de Estudio

Nota: Elaboración Propia, 2024

Figura 2



Fotografía 1 (febrero 2024)



Fotografía 2 (febrero 2024)



Fotografía 3 (octubre 2023)



Fotografía 4 (octubre 2017)

Registro Fotográfico del Municipio de Algarrobo

Nota: Elaboración Propia, 2024

4.2. Investigaciones Referentes

Para el desarrollo del proyecto de grado se consideraron investigaciones relacionadas con la determinación de la amenaza por inundaciones. Estas investigaciones aportan elementos conceptuales y metodológicos para el desarrollo del presente trabajo. En la Tabla 1 se presenta contexto de las investigaciones consultadas.

Tabla 1.

Investigaciones relacionadas con la determinación de la amenaza por inundaciones

Investigación	Autores	Objeto
1. Evaluación del Riesgo de Inundación en Áreas Urbanas Mediante SIG: el Caso de la Ciudad de Buenos Aires.	Rodríguez y Díaz (2018)	A través de modelos de simulación, se identifican las áreas con mayor probabilidad de sufrir inundaciones, considerando distintos escenarios de precipitaciones y su impacto en la infraestructura urbana.
2. Estudio de Amenaza	Díaz e Ibarra	Realizaron un análisis detallado del



de Inundación del Río Culagá, Sector Puente Pr2+500 en la Vía Toledo – Labateca, Departamento Norte de Santander.	(2020)	comportamiento hidrológico y geomorfológico del río, empleando modelos matemáticos para simular los caudales y niveles de agua durante eventos de lluvia.
3. Evaluación del Riesgo Urbano por Inundaciones del Río Supía en Colombia.	Londoño y Johan (2021)	A través de un enfoque multidisciplinario, el autor emplea modelos hidrológicos y herramientas SIG para evaluar los caudales y los posibles escenarios de inundación en diferentes niveles de precipitación. La investigación considera el impacto social, económico y ambiental de las inundaciones en la comunidad local.
4. Determinación de la Amenaza y Vulnerabilidad Producida por el Fenómeno de Inundación en el Barrio Olivares, Municipio De Soacha, Cundinamarca.	Pedraza y Balaguera (2016)	Se analizan las condiciones geográficas, hidrológicas y sociales de la zona para evaluar los riesgos asociados a las inundaciones mediante el uso de herramientas como modelos hidrológicos y mapas de vulnerabilidad.
5. Determinación de Zonas de Amenaza por Inundación Estudio	Yara (2023)	Evalúa el comportamiento del río ante diferentes escenarios de precipitación y caudal con el objetivo de identificar las áreas de mayor riesgo de



Hidráulico del Río San Eugenio Santa Rosa de Cabal, Risaralda.		inundación, utilizando herramientas de modelización hidrológica y análisis geomorfológico, se analizan factores como la topografía, el cauce del río y la capacidad de los sistemas de drenaje para gestionar el flujo de agua.
6. Estimación de la Amenaza de Inundación por Desbordamiento de los Arroyos Chemerrain y Kutanumaná en el Municipio de Uribia – Departamento de la Guajira.	Núñez y Paternina (2022)	Permite entender el comportamiento de la pluviometría en una zona donde las precipitaciones son poco comunes, pero muy intensas en cortos periodos
7. Identificación de las Zonas de Amenaza por Inundación, Mediante los Sistemas de Información Geográfica como Herramienta de Insumo, para la Gestión del Riesgo en el Municipio de Moñitos, Córdoba.	Portillo (2015)	Permite analizar factores como el comportamiento hidrológico, la topografía y el uso del suelo, con el fin de determinar las áreas más vulnerables a inundaciones en la región, además se emplean fotografías aéreas y un levantamiento topográfico para la creación del MDT el cuales son piezas fundamentales para el desarrollo del modelo de inundación.
8. Determinación de	Calixton (2017)	Propone la creación de mapas amenaza específicos



Zonas Susceptibles de Inundación Mediante el uso de Herramientas SIG en el Área de Influencia del Río Cravo Sur, Ubicado en el Municipio de Yopal, Departamento del Casanare.		para la planificación territorial, señalando que las zonas de mayor susceptibilidad se encuentran principalmente en las áreas cercanas al cauce del río Cravo Sur y en las regiones bajas de la ciudad, donde el drenaje es insuficiente para manejar grandes volúmenes de agua.
9. Zonificación de Amenazas por Inundaciones en las Zonas Urbana y de Expansión del Municipio de Jamundí (Valle del Cauca).	Martínez y Castrillón (2014)	Resalta dentro de sus resultados la importancia de la cartografía como componente técnico y científico dentro de los estudios de amenazas y riesgos naturales.
10. Mapeo de zonas de riesgo de inundación y proyecciones futuras para la cuenca del río Thamirabarani, sur de la India: perspectivas a partir de las tendencias pluviométricas decenales y la técnica de proceso analítico jerárquico basada en SIG.	Kaliraj et al. (2024)	El estudio tuvo como objetivo elaborar un mapa de susceptibilidad a inundaciones en la cuenca del río Thamirabarani (India), integrando datos de precipitación y variables geoambientales mediante SIG y AHP, para identificar zonas de riesgo actual y proyectar escenarios futuros de inundación.
11. Integración de variables	Pathak, Mathad	El documento aborda la importancia de integrar



socioeconómicas en la evaluación de daños por inundaciones urbanas: un estudio de caso de Bengaluru, India	y Gagnon (2024)	variables socioeconómicas en la evaluación del riesgo de inundación, destacando cómo factores como ingreso, valor de los activos y características de las viviendas influyen significativamente en la magnitud de los daños. Propone la incorporación de estas variables en los modelos de análisis para mejorar la precisión de la estimación de pérdidas y apoyar la toma de decisiones en la gestión del riesgo.
12. Tendencias históricas e implicaciones futuras de los desastres en Honduras	Quesada-Román, Campos-Durán y Gutiérrez (2024)	El estudio analiza los factores que determinan la vulnerabilidad frente a inundaciones en entornos urbanos, destacando la influencia de variables socioeconómicas, la densidad poblacional y las condiciones de infraestructura. Se concluye que integrar estas variables en la modelación permite mejorar la estimación de riesgos y diseñar estrategias más efectivas de gestión del desastre.

4.3. Referentes Teóricos de la Modelación Hidráulica

Los siguientes postulados teóricos permiten enfocar la investigación en la línea de la modelación hidráulica como metodología para la determinación de la amenaza natural por inundaciones y desbordamientos del río Ariguaní en el casco urbano del municipio de Algarrobo.

4.3.1. Teoría de la Precipitación Excedente.

Este postulado desarrollado por Robert E. Horton conocido como la teoría de la precipitación excedente, que establece que la cantidad de agua que contribuye a una inundación depende principalmente de la intensidad y la duración de la lluvia, así como de las características del suelo y la vegetación. En su obra seminal "The Horton Papers", Horton aborda estos conceptos y su aplicación en la predicción de inundaciones, según Horton (1945), la teoría de la precipitación excedente proporciona un marco conceptual para comprender la relación entre la lluvia y la inundación de gran importancia para el desarrollo de esta investigación, pues constituye el eje transversal para la aplicación de la metodología de caudales excedentes en la definición de las áreas de inundación.

4.3.2. Procesos Fluviales en Geomorfología

El libro *Fluvial Processes in Geomorphology*, escrito por Leopold, Wolman y Miller (1964), es una obra fundamental en el estudio de los procesos fluviales. Los autores desarrollaron modelos matemáticos para predecir y analizar el comportamiento de los ríos durante eventos de inundación, estableciendo las bases para investigaciones posteriores en hidrología e ingeniería fluvial. Estos modelos son la base para la modelación realizada en el río Ariguaní, por medio de software especializados en la gestión de los recursos hídricos, esencialmente utilizados en este estudio.

4.3.3. Análisis Estadístico de Estaciones hidrometeorológicas

El estudio de variables como la precipitación, temperatura, evaporación y caudal, a través del análisis estadístico de los datos históricos registrados en estaciones hidrometeorológicas, permite identificar patrones temporales, tendencias climáticas, variabilidad estacional y eventos extremos que afectan el comportamiento hidrológico de una cuenca (Chow et al., 1988; Helsel & Hirsch, 2002).

El uso de series temporales, distribuciones de probabilidad y modelos estadísticos constituye una herramienta fundamental en la hidrología aplicada, ya que permite describir y predecir el

comportamiento de los fenómenos naturales, especialmente en el análisis de eventos extremos como inundaciones. Estas técnicas permiten evaluar la variabilidad climática, identificar tendencias a largo plazo y estimar probabilidades de ocurrencia de eventos hidrológicos significativos, con base en registros históricos obtenidos en estaciones hidrometeorológicas (Chow et al., 1988; Helsel & Hirsch, 2002).

4.3.4. *Análisis de Precipitaciones*

El análisis de precipitaciones constituye un componente esencial en el estudio hidrológico de las inundaciones, ya que permite comprender los patrones temporales y espaciales de la lluvia que inciden directamente sobre una cuenca hidrográfica. La precipitación actúa como el insumo principal en los modelos hidrológicos, por lo que su adecuada caracterización es clave para estimar caudales máximos, escorrentía superficial y la ocurrencia de eventos extremos como inundaciones (Chow, Maidment & Mays, 1988).

El estudio de la precipitación se fundamenta en el análisis de variables como Intensidad, Duración, Frecuencia, Distribución temporal y espacial, estas variables se derivan de registros históricos obtenidos a partir de estaciones pluviométricas y se analizan mediante series temporales. Tal análisis permite identificar tendencias, estacionalidades, variabilidad interanual y eventos atípicos, lo cual es crucial para el diseño de infraestructuras hidráulicas y la gestión del riesgo de desastres (Chow et al., 1988). La correcta interpretación de estos parámetros posibilita la vinculación entre los eventos de lluvia y la respuesta hidrológica de la cuenca, fortaleciendo la capacidad predictiva de los modelos de simulación hidrológica.

4.3.5. *Función de Densidad de Probabilidad - FDP de Gumbel*

La FDP de Gumbel se utiliza para modelar el comportamiento de los máximos o mínimos de una serie de datos (Gumbel, 1958). El interés en esta función se centra en su capacidad para proporcionar una descripción precisa de fenómenos que presentan condiciones extremas, como inundaciones o sequías.

El concepto de FDP de Gumbel fue introducido en 1958 por Emil Julius Gumbel, un matemático y



estadístico que hizo significativas contribuciones a la teoría de la probabilidad. Su trabajo se basó en la observación de fenómenos naturales y se propuso para abordar la necesidad de modelar y predecir eventos extremos que pueden tener impactos severos. La distribución se deriva de la teoría de los extremos y se clasifica como una distribución de valor extremo (Gumbel, 1958).

En el análisis de inundaciones, comprender la probabilidad de que se produzca un evento extremo es crucial para garantizar la seguridad de las estructuras (Gumbel, 1958). Al aplicar la distribución de Gumbel, se puede calcular la magnitud y la frecuencia de las inundaciones (Smith & Jones, 2004).

La función Gumbel también permite modelar series temporales de fenómenos como lluvias máximas (Gumbel, 1958).

Este modelo es ampliamente usado para determinar valores extremos hidrológicos:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right)$$

x : Variable aleatoria. Representa el valor para el cual quieres conocer la probabilidad.

μ : Parámetro de ubicación. Desplaza la distribución a lo largo del eje x .

α : Parámetro de escala. Controla la dispersión o "ancho" de la distribución.

$f(x)$: Función de densidad de probabilidad en el punto x .

4.3.6. Función de Densidad de Probabilidad FDP de Pearson Tipo III

En 1895, Karl Pearson publicó su influyente trabajo titulado "*Contributions to the Theory of Statistics*" proporcionando las bases para la creación de distribuciones que permiten analizar y modelar fenómenos naturales y científicos, con aplicaciones que van desde la predicción de eventos extremos como las inundaciones.

La FDP de Pearson tipo III se clasifica dentro de la familia de distribuciones de Pearson. Esta

distribución se caracteriza por su capacidad para modelar datos asimétricos y sesgados. La Pearson III permite una mayor flexibilidad, dado que puede ajustarse a diferentes grados de asimetría (Kotz & Nadarajah, 2004). Su expresión matemática la hace útil para describir fenómenos en los que la cola de la distribución se extiende en una dirección, reflejando así datos que podrían estar sujetos a límites inferiores o superiores (Johnson et al., 1994).

Una importante figura que contribuyó al desarrollo de la estadística en este contexto es Ronald A. Fisher. El expandió y aplicó las ideas de Pearson en sus propios trabajos. Introdujo conceptos como la varianza y realizó estudios sobre los métodos de estimación de parámetros en distribuciones, lo que incluye el uso de la Pearson tipo III. Su trabajo en la inferencia estadística ha tenido un impacto significativo en la manera en que se usan las distribuciones en la investigación (Fisher, 1921).

Este modelo es derivado del modelo Pearson, donde se tiene en cuenta el logaritmo de la variable x

Dónde:

x = variable aleatoria

$$f(x) = \frac{\lambda^\beta (\log x - E)^{\beta-1} e^{-\lambda(\log x - E)}}{x\Gamma(\beta)}$$

E = Parámetro de localización

λ = Parámetro de escala

β = Parámetro de forma

$\Gamma(\beta)$ = función gamma evaluada en β

4.3.7. Pruebas de bondad y ajustes.

Las pruebas de bondad y ajuste son herramientas estadísticas cruciales en la modelación de inundaciones, ya que permiten determinar si los datos observados se ajustan adecuadamente a un modelo teórico, lo cual es fundamental para realizar predicciones precisas.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de Anderson-Darling, se emplean para evaluar la



bondad de ajuste en el análisis de datos hidrológicos (Kolmogorov, 1933; Anderson & Darling, 1952). Estas pruebas son particularmente útiles en la evaluación de la distribución de los máximos anuales de precipitación o caudal, que son esenciales para modelar fenómenos extremos como las inundaciones.

A lo largo del tiempo, las perspectivas en torno a estas pruebas de bondad y ajuste han cambiado, especialmente en su aplicación a la modelación de inundaciones. Mientras que inicialmente se utilizaban para verificar la adecuación de los modelos, hoy en día también se emplean para evaluar la calidad del propio modelo de inundación. Esto no solo implica evaluar si los datos se ajustan a un modelo específico, sino también si ese modelo es el más adecuado para representar la realidad del comportamiento hidrológico bajo diferentes condiciones (Anderson & Darling, 1952).

Con el avance de la tecnología, el uso de métodos computacionales y simulaciones se ha mejorado la precisión de las predicciones sobre eventos extremos como las inundaciones (Gelman et al., 2014). Es esencial que los modeladores de inundaciones no solo dependan de los resultados estadísticos, sino que también comprendan sus limitaciones, ya que una interpretación incorrecta puede llevar a la subestimación o sobreestimación de los riesgos de inundación (Gelman et al., 2014).

Prueba Kolmogorov-Smirnov. Es una herramienta estadística no paramétrica que permite evaluar si los datos observados de caudales extremos se ajustan a una distribución de probabilidad teórica, como la distribución de Gumbel o Log-Normal, comúnmente utilizadas para modelar fenómenos de eventos extremos (Kolmogorov, 1933).

Esta prueba es especialmente útil para verificar si los valores históricos de caudales máximos se ajustan bien a un modelo de distribución predeterminado.

En este test no paramétrico, la hipótesis nula (H_0) establece que los datos de caudales máximos se ajustan a una distribución teórica, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) sugiere que los datos no

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & \text{si } y_i \leq x, \\ 0 & \text{alternativa.} \end{cases}$$



siguen esa distribución y, por lo tanto, no representan adecuadamente el comportamiento de los eventos extremos de inundación (Anderson & Darling, 1952).

x : Valor sobre el cual se evalúa la función de distribución

y_i : Observaciones individuales en la muestra ($i=1, 2, \dots, n$)

n : Número total de observaciones

$F_n(x)$: Función empírica de distribución

$F(x)$: Función de distribución teórica

Los supuestos clave de la prueba Kolmogorov-Smirnov incluyen:

Los parámetros de la distribución de prueba, como la media y la desviación estándar, se determinan previamente.

Los datos siguen una distribución normal en cuanto a la media y la desviación estándar, lo cual es una suposición que puede no cumplirse en el caso de caudales extremos de inundación, donde los datos a menudo presentan sesgo.

Los valores extremos (es decir, los picos de caudal) determinan el rango de la distribución uniforme, lo cual es una suposición que debe ser cuidadosamente evaluada en el contexto de inundaciones.

Prueba Chi-Cuadrado. La prueba Chi-cuadrado es una de las herramientas estadísticas más utilizadas para evaluar el ajuste de los datos de caudales máximos a distribuciones de probabilidad teóricas, como las distribuciones de Gumbel y Log-Normal, frecuentemente empleadas en el análisis de inundaciones. Este tipo de análisis permite validar si los modelos de distribución de caudales extremos son adecuados para prever eventos de inundación.

Además, la prueba Chi-cuadrado se aplica tanto a distribuciones continuas como discretas, lo que



la convierte en una herramienta versátil en la hidrología estadística. A diferencia de otras pruebas como Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling, que se limitan a funciones de distribución continua, la Chi-cuadrado se utiliza para evaluar el ajuste a distribuciones discretas, lo que es común en los modelos de caudales diarios (López et al., 2021).

La fórmula estadística que emplea esta prueba calcula el valor χ^2 , el cual se compara con los valores teóricos para determinar si existe una desviación significativa entre los datos observados y los datos esperados bajo una distribución teórica (Williams & Smith, 2023).

En cuanto a las hipótesis, la hipótesis nula (H_0) establece que los datos de caudales se ajustan a una distribución dada, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) afirma que los datos no se ajustan a dicha distribución, lo que puede indicar la necesidad de revisar los supuestos o de emplear otro modelo (Gonzales et al., 2022).

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(\text{observada}_i - \text{teórica}_i)^2}{\text{teórica}_i}$$

χ^2 : Función chi cuadrado

Los grados de libertad siguen la próxima expresión.

$$gl = (r - 1)(k - 1)$$

gl : Grados de libertad

r : Número de filas en la tabla de contingencia

k : Número de columnas en la tabla de contingencia

Test Mann-Kendall. Es un procedimiento estadístico no paramétrico utilizado específicamente para evaluar si una serie temporal presenta o no una tendencia significativa a lo largo del tiempo. A diferencia de otros métodos que estiman la magnitud o dirección del cambio, esta prueba se enfoca en

determinar si existe una tendencia monótona (creciente o decreciente), sin requerir que los datos sigan una distribución normal (Mann, 1945; Kendall, 1975).

4.3.8. Modelación Hidrodinámica

La simulación hidrodinámica es una herramienta fundamental en la modelación de inundaciones, ya que permite representar el comportamiento del agua en cuencas hidrográficas, ríos o sistemas fluviales, con el fin de predecir las condiciones de flujo bajo diversos escenarios. Este proceso se basa en la aplicación de modelos matemáticos que resuelven las ecuaciones de conservación de masa y energía, tomando en cuenta variables como la pendiente del terreno, la rugosidad del cauce y las variaciones de caudal (Chow et al., 1988).

Los softwares especializados en modelación hidrodinámica, tales como HEC-RAS, MIKE 21 o SWMM, permiten simular la respuesta hidrológica e hidráulica del sistema frente a diferentes condiciones de precipitación y flujo. Estos programas son capaces de reproducir eventos de lluvia con diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 años, entre otros), y así estimar la propagación de las inundaciones en el territorio (USACE, 2020; DHI, 2017).

Sistema de Modelado Hydrologic Engineering Center's River Analysis System - HEC-RAS. El HEC-RAS es una herramienta desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos para el modelado hidráulico de ríos y cauces. Este sistema integra diversos módulos para el análisis unidimensional y bidimensional de flujos, transporte de sedimentos y calidad del agua, todo dentro de una interfaz gráfica amigable (USACE, 2020).

El software ofrece capacidades para representar el flujo del agua de manera unidimensional (1D) —a lo largo del cauce— y bidimensional (2D) —sobre una superficie plana, como una llanura de inundación—. Esto permite simular condiciones normales y extremas.

HEC-RAS permite realizar el análisis de las llanuras de inundación de las corrientes hídricas. El



caudal permanece estable durante el tiempo de simulación. Para ello, el usuario define diferentes métodos de simulación, como: establecer manualmente las estaciones límite, reducir porcentajes de conducción, o fijar aumentos específicos en la elevación de la superficie del agua. (USACE, 2020).

El modelo hidrodinámico en HEC-RAS se basa principalmente en las ecuaciones de Saint Venant, también conocidas como las ecuaciones de flujo unidimensional en canales abiertos. Estas ecuaciones permiten simular el comportamiento del flujo en régimen no permanente (unsteady flow), tanto en 1D como en 2D, las ecuaciones aplicadas son:

Ecuación de Continuidad (Conservación de la masa). Expresa que el cambio en el área de flujo y el caudal a lo largo del canal debe equilibrarse con los aportes laterales:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = ql$$

Datos:

A: Área transversal del flujo

Q: Caudal

X: Distancia

ql: Caudal lateral aportada

Ecuación de Momentum (Conservación de cantidad de movimiento). Representa cómo se equilibran las fuerzas internas, externas y la pendiente del canal:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} + gAh \right) = gA(S_f - S_0) + qlvl$$

Datos:

h: Altura del flujo

g: aceleración de la gravedad

sf: Pendiente de fricción



s0: Pendiente en el fondo del canal

vl: Velocidad lateral del flujo

Modelo bidimensional (flujo en 2D). Cuando HEC-RAS trabaja en 2D, se utilizan las ecuaciones de Saint Venant extendidas a dos dimensiones. Estas consideran el flujo en las direcciones X e Y y pueden incluir:

Ecuación de Continuidad 2D.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = q$$

Ecuaciones de Momentum en X e Y.

$$\begin{aligned}\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2h + 12gh^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} &= -gh \frac{\partial z}{\partial x} - f_u + C \\ \frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2h + 12gh^2)}{\partial y} &= -gh \frac{\partial z}{\partial y} - f_v + C\end{aligned}$$

Estas expresiones reflejan la base física del modelo, y cada término tiene implicaciones importantes para la simulación de inundaciones, tránsito fluvial y diseño de obras hidráulicas.

4.4. Referentes Modelo Participativo

4.4.1. Cartografía Social- Producción Cartográfica

La cartografía social es una opción metodológica para aproximarse a las comprensiones sobre el territorio que un conjunto de seres humanos posee de él. De esta manera, el levantamiento del mapa (cartografía) no se circunscribe a la delimitación de los espacios físicos, sino que se ancla a las diversas tensiones que emergen de las relaciones socioculturales de quienes habitan el territorio en cuestión (Barragán, 2016).

Habegger y Mancila (2006) definen la cartografía social como:

Una metodología nueva, alternativa que permite a las comunidades conocer y construir un conocimiento integral de su territorio para que puedan elegir una mejor manera de vivirlo. Es una forma de investigación humanista y humanizadora. Es una propuesta conceptual y metodológica novedosa que hace uso de instrumentos técnicos y vivenciales. Este tipo de mapas (en oposición con los mapas tradicionales que se elaboraban únicamente por los técnicos) se elaboran por la comunidad en un proceso de planificación participativa poniendo en común el saber colectivo (horizontal) y de esta forma legitimarlo. Es un proceso democrático de construcción de conocimiento a través de la transcripción de la experiencia de los lugares no nombrados. Los miembros de la comunidad analizan colectivamente los problemas sociales, en un esfuerzo por comprenderlos y solucionarlos.

La cartografía social es una herramienta que proporciona un marco flexible y participativo para evaluar la amenaza de inundaciones como también otros fenómenos espaciales, que integra el conocimiento local, promueve la colaboración comunitaria y facilita la comunicación de riesgos. Al adoptar enfoques participativos y centrados en la comunidad, es posible generar información más precisa y relevante para la gestión del riesgo de inundaciones. Esta herramienta será empleada en el proceso de obtención de información primaria y como mecanismo de validación del modelo hidrodinámico a emplear en la realización del presente estudio.

4.5. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para Generación de Mapas de Amenaza

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten integrar, analizar y visualizar datos geoespaciales de manera eficiente, lo que los convierte en instrumentos claves para la toma de decisiones. Existen diversas plataformas (SIG), tanto comerciales como libres y de código abierto, que ofrecen múltiples herramientas para la visualización, análisis y gestión de datos geoespaciales. Entre las de Código abierto tenemos QGIS (Quantum GIS), GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System), ILWIS

(Integrated Land and Water Information System), gvSIG entre otras. Entre las plataformas comerciales tenemos ArcGis, ERDAS IMAGINE, Global Mapper.

QGIS (Quantum GIS) se destaca por ser un software libre, de código abierto y multiplataforma, que permite el análisis espacial y la visualización cartográfica con una amplia gama de funcionalidades, extensiones (plugins) y capacidad de personalización.

Los SIG permiten realizar análisis espaciales avanzados, como la identificación de áreas inundables a partir de modelos hidrológicos y simulaciones de caudal. También es posible analizar las redes de drenaje, la distribución de la población y los impactos potenciales de las inundaciones sobre las infraestructuras y el entorno (Llorente, et al, 2008).

A partir de los resultados de los modelos de inundación y los análisis estadísticos, los SIG permiten generar mapas de amenazas que muestran las zonas con mayor probabilidad de sufrir inundaciones, lo cual es fundamental para la planificación urbana, la gestión de recursos y la toma de decisiones preventivas.

La integración de estos tres enfoques (análisis estadístico, modelación hidrodinámica y SIG) proporciona una visión integral de la amenaza de inundación, el análisis estadístico ayuda a comprender las características del fenómeno (probabilidades de eventos extremos), la modelación hidrodinámica predice el comportamiento del agua y las inundaciones bajo diferentes condiciones, y los SIG permiten mapear y visualizar estos de manera espacialmente precisa.

Modelación Espacial por medio de Spline. Este método se basa en la generación de una superficie continua suavizada que minimiza la curvatura general del modelo, ajustándose exactamente a los puntos de entrada. A diferencia de otras técnicas de interpolación, como el método de Kriging o el IDW (Inverse Distance Weighted), Spline en el modo tensionado es especialmente útil cuando se requiere una representación precisa y visualmente realista de fenómenos con variaciones suaves y continuas, como

es el caso de los niveles de agua durante eventos de inundación (Hutchinson, 2002). Su aplicación permitió capturar mejor los gradientes de altura y la continuidad espacial del fenómeno, lo cual es esencial para la identificación de zonas críticas de acumulación.

La ventaja principal del uso de Spline es la capacidad para generar superficies detalladas a partir de pocos puntos, sin requerir supuestos de distribución estadística, como sí lo exige Kriging u otros métodos estadísticos (Hutchinson, 2002). Además, su naturaleza determinística asegura una mayor fidelidad en áreas donde los cambios de la variable analizada; en este caso el nivel de agua, se producen de forma gradual y progresiva.

4.6. Marco Legal

En la Tabla 2 se mencionan las principales normas colombianas en las cuales se fundamenta la gestión del riesgo de desastres y su incorporación al ordenamiento territorial, estas normas están orientadas al conocimiento, reducción del riesgo, y manejo de desastres asociados.

Tabla 2

Normatividad Colombiana sobre Gestión del Riesgo y su Incorporación al Ordenamiento Territorial

Normatividad	Objeto	Observación	Vigencia
Ley 9 del 11 de enero de 1989	Por la cual se dictan normas sobre planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes y se dictan otras disposiciones	Se dictan normas relacionado con el Inventario de asentamientos en zonas de riesgo	Modificado por la ley 2 del 15 de enero de 1991, Ley 2079 de 2021. Adicionado por Ley 2044 de 2020. Artículos derogados por la Ley 388 de 1997
Decreto Ley 919 del 1 de mayo de 1989	Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y		Derogado por el art. 96, Ley 1523 de 2012



	Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones		
Ley 1523 del 24 de abril de 2012	Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones		Vigente
Decreto 1807 de 2014	Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.	Establece las condiciones técnicas para la elaboración de estudios básicos y detallados de riesgo y su incorporación al ordenamiento territorial	Vigente compilado en el Decreto 1077 de 2015
Decreto 308 de 2016	Se adopta el plan nacional de gestión del riesgo de desastres		Actualizado mediante Decreto 1478 del 2022.
Resolución 448 del 17 de julio de 2014 del Ministerio de Vivienda	Por el cual se establecen los lineamientos para que los municipios y distritos recojan y suministren la información para conformar el inventario nacional de asentamientos de alto riesgo de desastres		Vigente

Nota: Elaboración Propia (2025)

5. Metodología

5.1. Método de Investigación

Para el desarrollo de la investigación, se empleó la metodológica evaluativa con enfoque “cuantitativo”, iniciando con la indagación de información secundaria relacionada con la amenaza por inundaciones, bajo el enfoque de investigaciones de orden local, nacional e internacional. También la consulta de las variables que intervienen en la amenaza por inundación en la zona de estudio.

5.2. Diseño

Para fines de la investigación se propuso dos metodologías para la evaluación de la amenaza:

La primera incorpora el conocimiento local y la elaboración de información geográfica, plasmando la proyección de inundaciones mediante el uso de herramientas participativas con la comunidad y la espacialización de cotas de inundación a través de SIG.

La segunda metodología de modelación hidrodinámica se enfocó en la determinación de niveles máximos de Caudales, períodos de retorno y tiempos de duración, que permitieron la estimación de las manchas de inundación para el desarrollo de la zonificación por inundaciones. Esto unido a la información de alturas en el terreno provenientes de la topografía, el modelo digital de elevación DEM, el modelador hidráulico HEC RAS® y software SIG.

5.2.1. Metodología 1 - Evaluación de Amenaza a partir del Conocimiento Local.

Se aplican las siguientes etapas para tener una estimación de cómo ha sido el comportamiento natural de las inundaciones en la zona urbana de Algarrobo y hacer un reconocimiento de la zona a través del trabajo con las comunidades:

- Aplicación de encuesta sobre los sitios con información de inundación – muestreo aleatorio por hogares (ver anexo 1)
- Aplicación de cartografía social

- Construcción de la mancha de inundación
- Resultados del modelo

Técnica de Recolección de la Información. Las técnicas de recolección de la información que se implementaron para el desarrollo de esta investigación fueron: revisión de literatura (información secundaria), aplicación de cartografía social y encuestas semiestructurada referente altura de lámina de agua y sitios de inundación.

Se aplicó una encuesta a la población afectada por la problemática de inundaciones entre el 20 y el 22 de abril de 2024, en el marco del curso Gestión de la Participación Social. Para ello, se diseñó un instrumento de recolección de información primaria orientado a comprender las condiciones socioambientales, así como las percepciones y experiencias de la comunidad frente al fenómeno de las inundaciones. En este proceso se priorizó la recopilación del dato sobre la altura de la lámina de agua, considerado el insumo de mayor relevancia para la construcción del modelo participativo (véase Anexo 1). Cabe señalar que, dado que las encuestas incluyeron aspectos temáticos más amplio que el enfoque técnico del estudio de evaluación de amenaza y los objetivos de la investigación, en este trabajo se utilizaron únicamente aquellos aspectos pertinentes al análisis de inundaciones.

El proceso tuvo un enfoque transversal, orientado a generar insumos útiles para la construcción de un modelo participativo de referencia, con aplicación directa tanto en los cursos de Seminario de Investigación, como en la fase posterior de formulación del proyecto de grado.

Se optó por este tipo de técnica, ya que, dada la naturaleza de las actividades desarrolladas, la encuesta representó el mecanismo más adecuado para acercarse al cumplimiento de los objetivos planteados en la presente investigación.

Población y Muestra. El método de muestreo empleado para la captura de información primaria a la población del casco urbano de Algarrobo es el método aleatorio simple. Con el fin de responder los

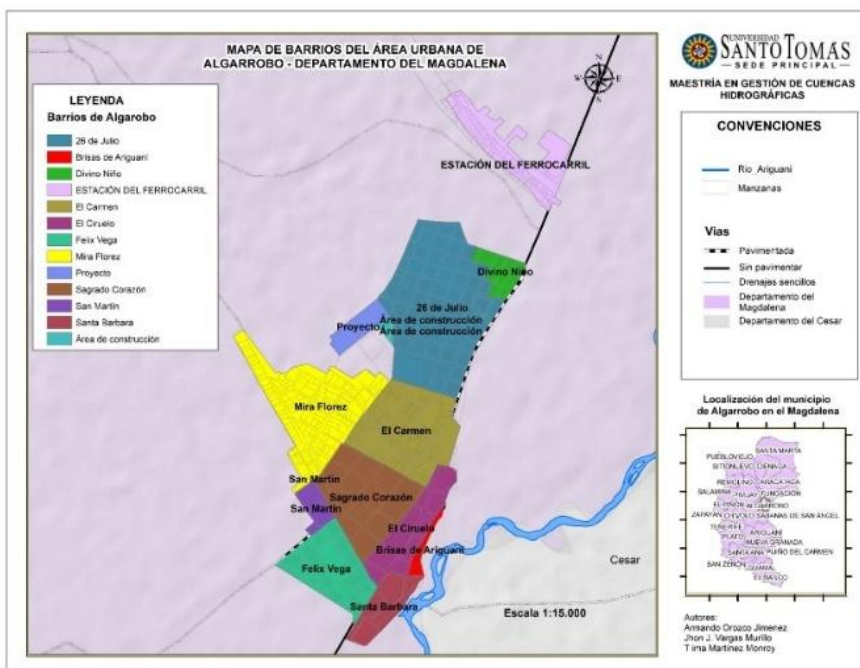
objetivos de la investigación, se identificó la población objeto de estudio para determinar una muestra representativa que sirviera para la obtención de información primaria.

La población objetivo de la presente investigación corresponde a la zona urbana del municipio de Algarrobo, focalizada hacia los barrios cercanos al río Ariguaní, que corresponde a los sitios de mayor afectación en este centro poblado, destacando los barrios: “Divino Niño, 26 de Julio, El Carmen, Santa Barbara, El Ciruelo, Brisas de Ariguaní, Sagrado Corazón, Félix Vega, San Martín, Miraflores, Proyecto y Estación Ferrocarril”.

La Tabla 3 describe la distribución poblacional del estudio, la cual se centró en los hogares que poseen relación directa con el fenómeno de las inundaciones pues son las personas residentes por núcleos en las viviendas ocupadas. Estas personas pueden brindar información de primer nivel sobre el impacto de estas inundaciones sobre la población y la infraestructura urbana.

Figura 3.

Barrios de Casco Urbano del Municipio de Algarrobo Magdalena



Fuente: Elaboración propia con límites de los barrios de la Alcaldía Algarrobo (2010).

A partir de la Tabla 3 se desarrolló una encuesta de recolección de información al número de hogares derivados de la aplicación de la fórmula de muestreo simple (ver anexo 1), que permitió conocer desde sus puntos de vista y desde sus experiencias información relacionada con el fenómeno de inundaciones en este municipio.

Tabla 3.

Población censada 2018 por centro poblado, según DANE (2018) proyectada 2023- municipio de Algarrobo Magdalena.

<i>Municipio</i>	<i>Clase</i>	<i>Centro poblado</i>	<i>Viviendas ocupadas</i>	<i>Hogares</i>	<i>Personas</i>	<i>Hombre</i>	<i>Mujer</i>
Algarrobo	Cabecera	Algarrobo	2.254	2.611	9.546	4.891	4.655
	municipal						

Nota: Tabla de Elaboración Propia con Datos de DANE (2018).

Grupo de Trabajo. La investigación en el aspecto participativo se desarrolló con 2.611 hogares del casco urbano del municipio de Algarrobo. Se dividió a la población en dos grupos de trabajo con cada grupo se realizó el ejercicio de cartografía social con el fin de obtener información pragmática sobre este fenómeno natural.

Cálculo Población y Muestra

Con base en la siguiente información, se procedió a realizar el cálculo de la muestra:

N=Población conocida

E=Ajustes del error

Z=Nivel de confianza=factor probabilístico

P= Probabilidad de éxito

q= Probabilidad de fracaso



$$p+q=1$$

Para determinar el tamaño de la muestra a partir de una población conocida (2.611 hogares urbanos) con una densidad promedio de 4,23 personas por hogar, según el último censo del DANE CNPV 2018. Posteriormente, se aplicó la fórmula de muestreo simple para poblaciones finitas.

$$n_0 = \frac{Z^2 * pq}{e^2}$$

Donde

n_0 = al tamaño de la muestra determinado.

Ajuste en el tamaño de la muestra

$$n' = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N}}$$

Z=Nivel de confianza = $1-\alpha=95\% \rightarrow z=1,96$

e=10% de margen de error=0,10

Una vez identificado los parámetros para determinar el tamaño de la muestra, se aplicó el modelo estadístico aleatorio simple.

$$p + q = 1 \rightarrow q = 1 - p \rightarrow 1 - 0,5 = 0,5$$

$n_0 = \frac{Z^2 * pq}{e^2}$, Y reemplazamos.

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 * 0.5 * 0.5}{0.1^2} = 96.04 \approx 96$$

Ahora, se procedió a ajustar la muestra obtenida.

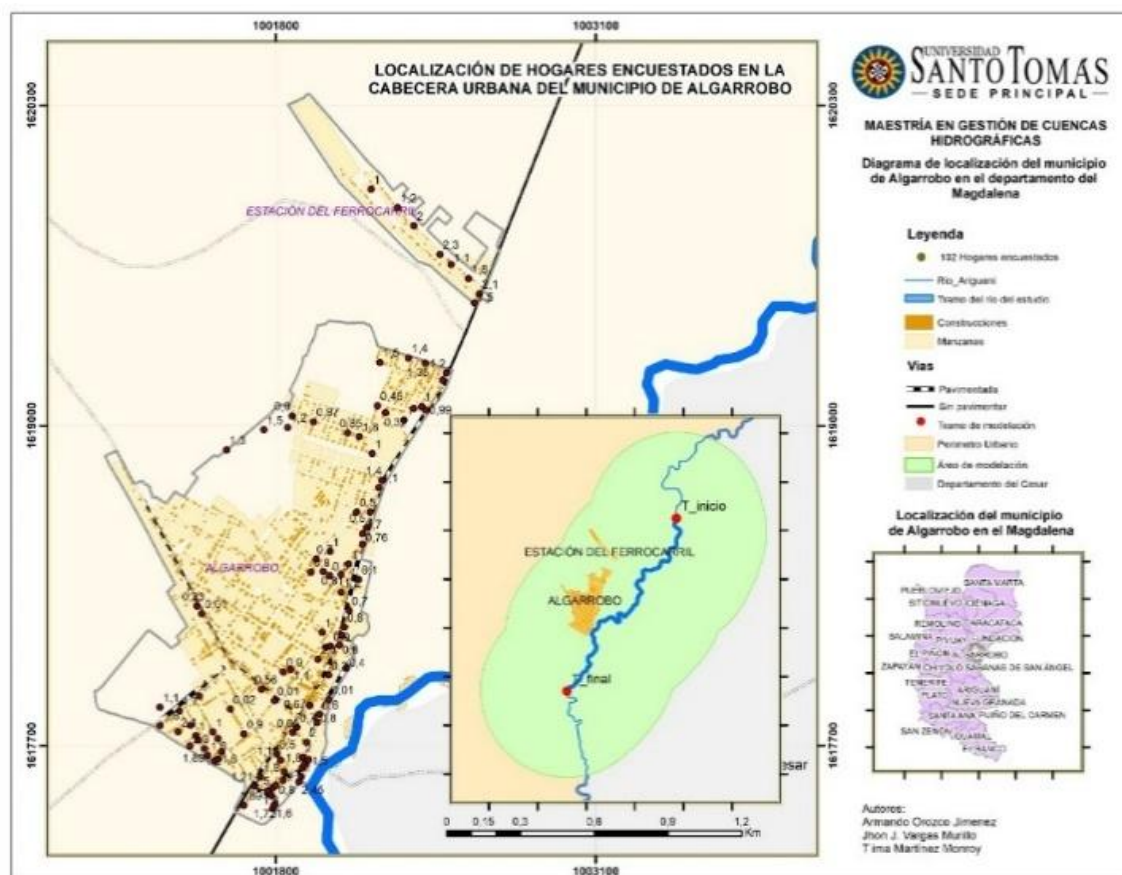
$$n' = \frac{96.04}{\left(1 + \frac{96.04 - 1}{2611}\right)} = 92.66 \approx 93 \text{ encuestas}$$

El tamaño de la muestra calculado es de 93 hogares. Este tamaño de muestra es suficiente para

alcanzar un nivel de confianza del 95% con un margen de error del 10%. Este cálculo asegura que los resultados del estudio serán tanto estadísticamente significativos como aplicables a la población general.

Muestra Sugerida – Validación. Previendo un margen de error de un 10% en el llenado de las encuestas, se decidió aumentar la muestra a 102 hogares. Ver Figura 4

Figura 4



Mapa Hogares Encuestados

Nota: Elaboración Propia, 2024

La Figura 4 presenta la distribución espacial de cada uno de los 102 hogares que fueron encuestados en el área urbana del municipio de Algarrobo. Este mapa constituye la base técnica para la representación geoestadística de cada uno de los datos levantados en campo referentes a las cotas y

periodos de inundación a partir del conocimiento de los pobladores locales.

El mapa también presenta los 4,22 km del tramo del río en estudio para la modelación hidrodinámica, permitiendo ubicar cartográficamente el cuerpo de agua que genera los impactos de inundación en la población objeto de estudio.

Nota: Para el caso, de aplicación de la cartografía social, se aplicó un taller con residentes de los barrios con influencia de inundaciones en el área del proyecto.

Aplicación de Encuestas. Se estructuró una encuesta orientada a comprender las experiencias, condiciones y percepciones de los hogares frente a los eventos de inundación ocurridos en el área urbana del municipio de Algarrobo. Por medio de un formulario con preguntas semiestructuradas fue posible la recolección de datos sobre inundaciones ocurridas en el municipio de Algarrobo. En una matriz de análisis en Excel se realizó a la sistematización y estructuración de los datos obtenidos.

En las encuestas se indagó sobre la experiencia de los hogares con las inundaciones, incluyendo datos sobre la frecuencia de los eventos, las zonas afectadas, los cuerpos de agua involucrados, los daños a viviendas e infraestructuras, así como la altura alcanzada por la lámina de agua en distintos periodos. Esta información fue complementada con observaciones directas de algunas marcas en paredes y otras construcciones.

El método empleado para la espacialización geográfica de los datos obtenidos fue el modelo de interpolación Spline en sistema tensionado, el cual constituye la herramienta para la generación de las manchas de inundación con conocimiento local en periodos señalados.

Georreferenciación (Localización Espacial). Para identificar con precisión la ubicación de cada uno de los hogares encuestados, se utilizó un dispositivo GPS de mano modelo GPSMAP 64S. Se registraron las coordenadas geográficas correspondientes en el encabezado de cada formulario, lo cual permitió una adecuada georreferenciación de los datos recopilados y su posterior representación cartográfica.

Con la presencia de 31 miembros de la comunidad de los barrios del casco urbano del Algarrobo, se realizó taller de cartografía social donde se graficó de manera conjunta los sitios afectados por inundaciones en el mayor evento recordado por las personas, lo que nos permite obtener la percepción de la comunidad sobre las áreas afectadas. Esta representación es una primera aproximación al modelo de inundación del área urbana en el área de estudio.

Modelo de Inundación a partir de Conocimiento Local. A partir de los datos obtenidos de las alturas de la lámina de agua en las viviendas encuestadas y georreferenciadas, empleando herramientas de Sistemas de Información geográfica (SIG), se elaboró una representación espacial de las inundaciones en cuatro periodos señalados por los habitantes: (2011, 2017, 2020 y 2022), a través de la espacialización de los niveles de altura de la lámina de agua en los respectivos años. Estos niveles fueron reportados por los habitantes según la fecha y el periodo del evento, y algunos fueron verificados en campo mediante medición directa con flexómetro en marcas visibles en algunas construcciones. El método empleado para la espacialización geográfica de los datos obtenidos fue el modelo de interpolación Spline en sistema tensionado, el cual constituye la herramienta para la generación de las manchas de inundación en los con conocimiento local en periodos señalados.

Como resultado, se generaron mapas de manchas de inundación en formato RASTER, diferenciados para cada uno de los periodos históricos reportados. Estos mapas fueron clasificados según la categorización de amenaza utilizada por CORNARE (2012), permitiendo representar con distintas tonalidades las zonas de mayor o menor exposición a las inundaciones.

Finalmente, una vez obtenidos los mapas de manchas de inundación a partir del modelo de conocimiento local se seleccionó el mapa con mayor similitud visual al resultado del ejercicio de cartografía social y se presentan las comparaciones pertinentes, con la finalidad que la representación sirva de validación del modelo hidrodinámico para la zonificación de la amenaza de inundación en el área.

Se encontró que solo dos estaciones cuentan con información de caudal y nivel del río Ariguaní,

Las estaciones de interés se encuentran identificadas en la Tabla 4.

Tabla 4

Estaciones Meteorológicas sobre el Río Ariguaní

CODIGO	NOMBRE	CATEGORIA	LATITUD	LONGITUD	CORRIENT E	FECHA_INST	FECHA_SUS P
28047010	AURORA LA	LM	10.276861	-73.977806	401	15/05/1961	Nulo
28047030	ALGARROBO	LM	10.193444	-74.046917	401	15/02/1963	Nulo

Fuente: IDEAM, Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos

Análisis de Tendencia de la Estación. La prueba de tendencia de Mann Kendall se utilizó para analizar los datos recopilados a lo largo del tiempo de la estación AURORA LA (28047010) en busca de tendencias crecientes o decrecientes (monótonas).

Determinación de Periodo de Retorno. Los periodos de retorno abordados en la investigación de evaluación de amenaza en el municipio de Algarrobo corresponden a los $Tr = (2, 10, 25, 50, 100)$ años.

Estimación de Manchas de Inundación. Para la estimación de la mancha de inundación se procedió a recolectar los datos de: topografía aportada por Aguas del Magdalena, Modelo Digital de Elevación (DEM) Alos Palsar, los datos hidrológicos corresponden a caudales de las estaciones IDEAM y la cobertura del suelo y uso del suelo del IDEAM.

Luego se procede realizar la modelación hidrodinámica para lo cual se eligió el software HEC-RAS:

Definición del Escenario. Se tomaron los valores para los escenarios de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años para la determinación de las condiciones críticas y validación del modelo con los datos obtenidos se define el perfil del río y condiciones del terreno.

Parámetros de la Simulación. La configuración del modelo hidrodinámico bidimensional en HEC-RAS exigió la determinación de parámetros físicos, hidráulicos y numéricos con base en la naturaleza del

área de estudio, la calidad de los datos disponibles y los objetivos de simulación definidos para el municipio de Algarrobo. Este proceso se desarrolló mediante criterios técnicos comprobados, documentación previa y validación empírica presentados en la Tabla 5.

Tabla 5

Proceso de Determinación de los Parámetros de la Simulación

Parámetros geométricos	Se empleó un MDE de 1.0 m × 1.0 m para representar con precisión la topografía urbana. • Se definieron líneas de ruptura y elementos de control hidráulico para conservar pendientes y restricciones geométricas. • La malla computacional se generó respetando la resolución del terreno, con celdas cuadradas de 100 m para equilibrar el detalle y el costo de simulación.
Condiciones de contorno.	• En la entrada del modelo se incorporaron hidrogramas teóricos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, calculados con métodos pluviométricos y herramientas hidrológicas complementarias. • La salida del dominio se trató como una condición de flujo normal, calculada con base en la pendiente media del cauce (0.003199 m/m), facilitando el tránsito libre del flujo en su tramo terminal.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

Rugosidad del terreno (coeficiente de Manning).	Superficie	Condiciones			
		Perfectas	Buenas	Regulares	Malas
	Canales y Zanjas				
	Canales revestidos con concreto	0.012	0.014*	0.016*	0.018
	En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.0225	0.025*
	En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033*	0.035
	En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045	
	Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025*	0.0275	0.030
	Dragados en tierra	0.025	0.0275*	0.030	0.033
	Con lecho pedregoso y bordos de tierra, enhierbados	0.025	0.030	0.035*	0.040
	Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.030	0.033	0.035
	Corrientes naturales				
	1. Limpios, bordos rectos, llanos, sin hendiduras ni charcos profundos	0.025	0.0275	0.030	0.033
	2. Igual a 1, pero con algo de hierbas y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
	3. Sinuoso, algunos charcos y escollos limpios	0.033	0.035	0.040	0.045
	4. Igual a 3, de poco tirante con pendiente y sección menos eficientes	0.040	0.045	0.050	0.055
	5. Igual a 3, algo de hierba y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
	6. Igual a 4, secciones pedregosas	0.045	0.050	0.055	0.060
	7. Ríos perezosos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
	8. Cauces muy enhierbados	0.075	0.100	0.125	0.150
	* Valores corrientemente usados en la práctica.				
	Fuente: Canales de Desviación; Ciancaglini, N. 1966, Argentina, UNESCO.				
Condiciones iniciales y temporales	- Se asumió un estado húmedo inicial, representando el arranque de un evento hidrológico súbito. - El intervalo de cálculo se fijó en 1 segundo, asegurando la estabilidad del modelo según el número de Courant. - La duración total de la simulación fue de 24 horas, cubriendo la curva hidrológica completa del evento crítico.				
Esquema numérico	Se utilizó el método de volúmenes finitos implícitos, con opción de onda dinámica completa, lo cual garantiza una representación precisa de la propagación del flujo, incluyendo efectos de aceleración, fricción y pendiente.				

Simulación. La simulación se desarrolló en el entorno 2D y se definieron los Boundary Conditions Lines (BCL) para este modelo:

- Flow Hydrograph (hidrograma de caudal): usado para entradas de caudal variable en el tiempo.

- Normal Depth (calado normal): aplicado cuando se conoce la pendiente del canal aguas abajo.

Para la simulación en HEC RAS 2D se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se Importó el DEM base obtenido a través de una topografía suministrada por aguas del Magdalena de anteriores estudios realizados para el diseño de las redes de agua potable y alcantarillado
2. Se creó el área de simulación 2D: en el RAS Mapper, para lo cual se definió el área de cálculo y se generó la malla 2D.
3. Se dibujó las líneas de condición de frontera (BCL) y se trazaron en los bordes del área de simulación aguas arriba y aguas abajo del municipio de algarrobo sobre el río Ariguaní.

Se asignó el tipo de condición en los siguientes pasos:

- En el panel de propiedades de la BCL, se seleccionó el tipo Flow Hydrograph en el boundary aguas arriba y Normal Depth en el boundary aguas abajo.
- Se ingresaron los datos correspondientes a los hidrogramas de caudales para los diferentes periodos de retorno, 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años (Ver anexo 3).
- Se vinculó con el plan de simulación en el Unsteady Flow Analysis y se enlazaron las condiciones de frontera al plan de simulación.

Generación de la mancha de inundación (GIS). Para el análisis y visualización de los resultados, se utilizaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), las cuales facilitaron la representación espacial de los niveles de lámina de agua asociados a cada periodo registrado.

Se usó software SIG QGIS para procesar los resultados del modelo, superponerlos con información geográfica (uso del suelo, vías, viviendas) y generar mapas temáticos de zonas inundables.

5.2.3. Comparación y Validación de la Mancha de Inundación

Se realizó una comparación entre la mancha de inundación generada a partir de los datos de la cartografía social y las manchas obtenidas mediante modelaciones correspondientes a distintos períodos de retorno evaluados en el estudio. Se estableció un procedimiento sistemático para la selección del escenario más representativo de la realidad local. Este proceso se basó en un análisis comparativo entre los resultados obtenidos a través de la modelación hidrodinámica y los insumos derivados de ejercicios participativos comunitarios. El criterio fundamental de selección consistió en identificar aquella mancha de inundación cuyo patrón espacial coincidiera, en mayor medida, con las zonas señaladas por la comunidad como recurrentemente afectadas por eventos de inundación.

Además de la concordancia espacial con los mapas generados participativamente, se incorporó como criterio de validación la existencia de registros documentales o fuentes secundarias que corroboraran históricamente la ocurrencia de inundaciones en los sectores señalados. La coincidencia entre ambos elementos —evidencia participativa y documentación histórica. En consecuencia, la mancha de inundación seleccionada bajo estos parámetros se utilizó como base para la propuesta de zonificación por amenaza de inundación.

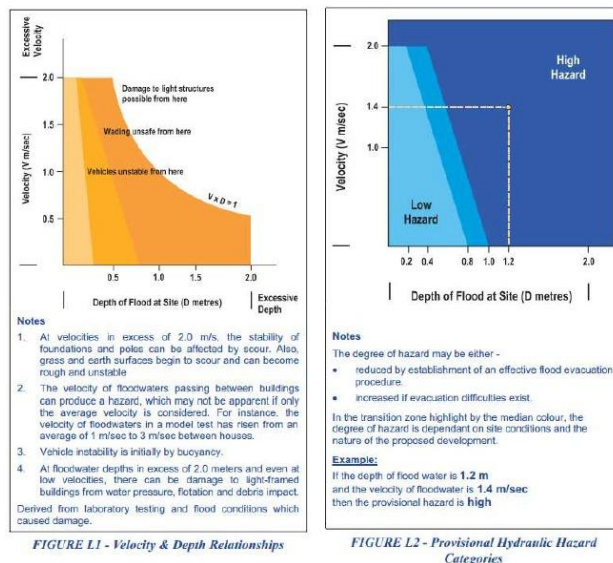
5.2.4. Zonificación de Amenaza por Inundación

Teniendo en cuenta la guía metodológica para la generación de mapas de inundación establecida por el IDEAM (2017), se aplicaron los siguientes pasos:

- Se empleó la escala de trabajo de 1:10.000 como la escala de referencia del trabajo, sin embargo, se utilizó un Modelo Digital de Elevación de 12,5 metros de resolución espacial con escala de referencia de (1:25.000), como insumo para la modelación y un levantamiento topográfico del casco urbano del municipio en escala 1:2.500, con el cual se realizó un ajuste al modelo digital y se recreó la malla de elevación del área de trabajo.

- Se empleó la categorización sugerida por el IDEAM en la guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación teniendo en cuenta el criterio de la profundidad por la velocidad. Ver **Figura 6** y **Tabla 6**.

Figura 6.



Categorización de Amenaza de Inundación (Relación velocidad y profundidad)

Nota: IDEAM (2017)

Tabla 6

Flood Severity Category	Depth * Velocity Range (ft ² /sec)	Depth * Velocity Range (m ² /sec)
Low	< 2.2	< 0.2
Medium	2.2 – 5.4	0.2 – 0.5
High	5.4 – 16.1	0.5 – 1.5
Very High	16.1 – 26.9	1.5 – 2.5
Extreme	> 26.9	> 2.5

Categorización simplificada de la amenaza como el producto de la velocidad por la profundidad

Nota: IDEAM (2017)

- A partir del algebra de mapas de la velocidad en m/s y la profundidad en m, de acuerdo con la guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación del IDEAM, se obtuvo la

zonificación y se procedió a definir los rangos (Bajo, Medio, Alto, Muy Alto y Extremo).

- Finalmente se realizó el mapa de zonificación de la amenaza por inundación del municipio de Algarrobo, presentando las categorías de las inundaciones en el área de estudio.

6. Resultados

Se procede a describir los resultados obtenidos en el estudio:

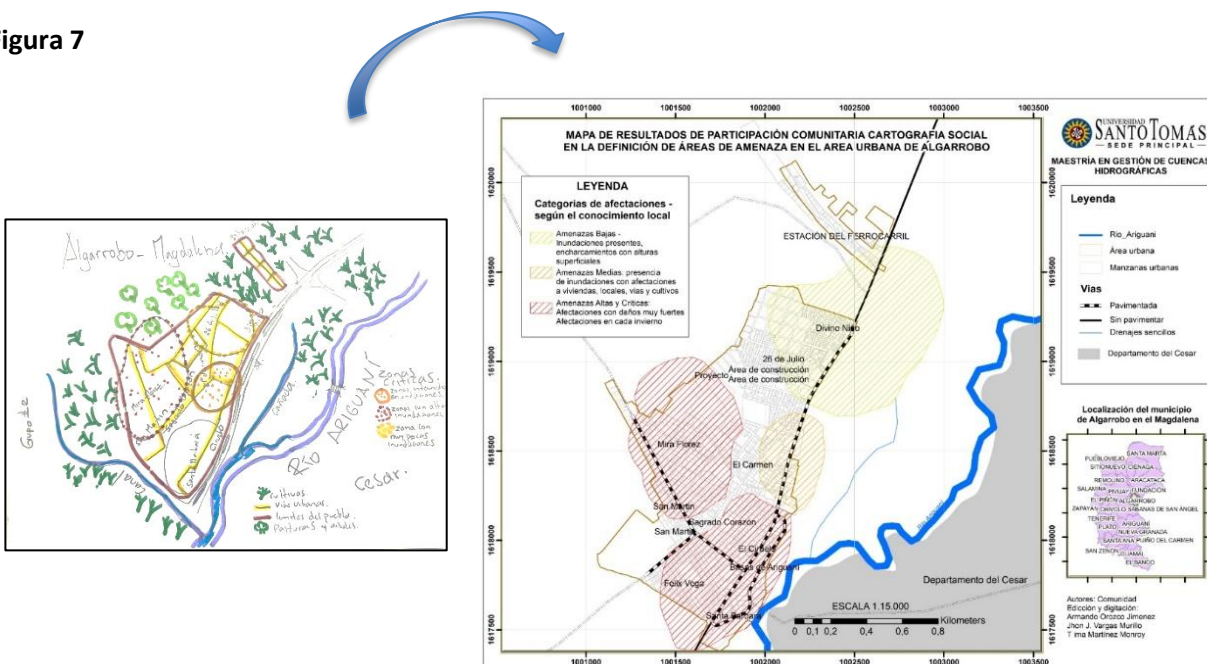
6.1. Resultados de la Evaluación de Amenaza a partir de Cartografía Social.

El mapa presentado en la Figura 7 fue elaborado a partir de cartografía social con la comunidad del área urbana, quienes, representaron su percepción sobre las inundaciones.

En el dibujo original se observa una representación destacada del río Ariguani, caracterizado por una marcada sinuosidad, lo que evidencia su reconocimiento como un cauce de patrón meándrico.

La amplitud con que fue dibujado el río sugiere un fuerte vínculo afectivo y simbólico de la comunidad con este elemento natural, reflejando su relevancia en la cotidianidad y la identidad territorial del municipio.

Figura 7



A la izquierda el mapa de cartografía social generado en el taller comunitario. A la derecha la versión editada en CAD para facilitar la lectura.

Nota: Elaboración Propia a partir de taller comunitario (2024)

Esta representación toma gran importancia, en la medida que proporciona una espacialidad de este fenómeno desde la óptica o percepción de los participantes, aunque no se toma información de periodo, fecha o niveles de inundación.

El modelo participativo construido a partir de ejercicios de cartografía social comunitaria permitió representar la percepción colectiva de inundación en la zona urbana del municipio de Algarrobo, estableciendo una clasificación de amenaza distribuida en tres categorías: Alta, Media y Baja, codificadas cromáticamente mediante los tonos rojo, naranja y amarillo, respectivamente.

A continuación, se describe la distribución espacial según el nivel de amenaza:

Amenaza Baja: Esta categoría se concentra en el norte del área urbana, abarcando principalmente los barrios 26 de Julio y Divino Niño. Estos sectores fueron señalados como zonas con escasa o nula incidencia de eventos de inundación, lo cual coincide con información proveniente de registros y reportes técnicos previos. Un aspecto relevante es que la zona de la Estación Ferrocarril no fue incluida en ningún nivel de amenaza por los participantes.

Amenaza Media: Representada principalmente en el centro del área urbana, esta categoría abarca sectores como los barrios 26 de Julio (parte sur) y la zona norte de El Carmen. En estos sectores, si bien las afectaciones reportadas no han sido tan severas como en otras zonas, los registros históricos y las fuentes locales han reportado episodios de anegamiento en años anteriores.

Amenaza Alta: Esta categoría se divide en dos núcleos de alta concentración. El primero se localiza en el noroccidente del área urbana, incluyendo barrios como Miraflores, sectores del barrio El Carmen, y zonas periféricas de los barrios Proyecto y Sagrado Corazón. El segundo núcleo se extiende hacia el sector sur, abarcando los barrios Félix Vega, Santa Bárbara, Brisas de Ariguaní, El Ciruelo, y áreas contiguas del barrio Sagrado Corazón. Estas zonas fueron señaladas por los participantes como los sectores históricamente más expuestos, donde se han reportado mayores alturas de lámina de agua y mayores

impactos socioeconómicos durante los eventos de inundación.

6.1.1. Modelo de Inundación a partir del Conocimiento Local – Cotas de Inundación.

El modelo de inundación a partir del Conocimiento Local se elabora a partir de la información sobre las cotas reportadas por los habitantes del área urbana de Algarrobo. La Tabla 7 presenta los puntos georreferenciados donde se obtuvo dichas cotas.

Tabla 7

Cuadro de Información - Periodos y Cotas de Inundación según Conocimiento Local

Numero	Cota reportada (m)	Año de reporte inundación critica	Coordenada Este	Coordenada Norte
1	1,6	2020	1001788,744	1617444,624
2	1,72	2022	1001796,015	1617462,344
3	0,11	2020	1001784,077	1617495,255
4	1,6	2022	1001767,462	1617506,732
5	1,59	2017	1001775,097	1617508,171
6	1,8	2017	1001767,131	1617516,33
7	2,5	2022	1001787,601	1617529,117
8	0,8	2023	1001799,648	1617538,975
9	0,95	2022	1001829,941	1617559,806
10	1,21	2020	1001715,171	1617536,384
11	2,5	2022	1001834,426	1617595,469
12	2,1	2011	1001738,944	1617571,795
13	0,21	2011	1001907,24	1617612,079
14	0,11	2022	1001902,886	1617575,553
15	0,22	2017	1001893,084	1617553,837
16	1,8	2017	1001916,391	1617625,31
17	1,5	2022	1001933,699	1617644,091
18	2	2011	1001908,512	1617653,27
19	2	2011	1001926,274	1617714,211
20	1,19	2022	1001819,664	1617641,252
21	0,5	2017	1001803,628	1617666,234
22	0,65	2011	1001868,528	1617753,752
23	0,7	2020	1001885,266	1617775,151
24	0,8	2020	1001968,18	1617794,726
25	0,6	2017	1001977,38	1617827,658
26	0,01	2017	1002015,086	1617888,046
27	0,12	2020	1002085,456	1618013,925
28	0,67	2020	1001936,997	1617864,033
29	0,3	2017	1002013,999	1617987,328
30	0,3	2022	1002058,41	1618107,938



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

Numero	Cota reportada (m)	Año de reporte inundación critica	Coordenada Este	Coordenada Norte
31	0,2	2022	1002070,143	1618147,812
32	0,22	2017	1002077,98	1618181,699
33	0,24	2017	1002097,506	1618249,124
34	0,16	2022	1002136,438	1618375,441
35	0,13	2011	1002003,521	1618100,873
36	0,31	2020	1001970,985	1618051,314
37	0,22	2020	1001860,443	1618010,275
38	0,2	2020	1001831,07	1617999,733
39	0,56	2011	1001741,498	1617929,578
40	0,01	2020	1001794,401	1617883,085
41	0,9	2020	1001670,267	1617748,429
42	1,2	2020	1001578,936	1617676,268
43	1	2020	1001544,51	1617755,54
44	1,2	2020	1001564,383	1617729,049
45	0,02	2020	1001615,523	1617848,814
46	0,95	2020	1001551,49	1617639,486
47	1,6	2020	1001566,422	1617646,259
48	1,6	2022	1001522,521	1617660,362
49	1,89	2011	1001509,172	1617688,693
50	1,2	2011	1001484,706	1617722,695
51	1	2022	1001474,929	1617741,52
52	2,4	2022	1001452,718	1617783,393
53	2,1	2020	1001402,688	1617756,785
54	1,5	2020	1001451,664	1617700,069
55	1,8	2017	1001330,253	1617783,012
56	0,32	2017	1001329,259	1617856,334
57	1,7	2020	1001407,691	1617842,712
58	1	2020	1001488,986	1617901,686
59	1,89	2017	1001670,501	1617458,814
60	0,23	2017	1001478,757	1618268,057
61	1,4	2020	1001499,56	1618236,484
62	0,2	2020	1002491,725	1619214,268
63	1	2020	1002477,885	1619185,67
64	0,32	2011	1002407,086	1619254,821
65	0,1	2011	1002339,518	1619275,198
66	0,1	2022	1002223,065	1619257,673
67	0	2022	1002606,833	1619498,501
68	0,1	2011	1002627,277	1619535,535
69	0,5	2011	1002583,531	1619597,914
70	0,1	2017	1002511,905	1619655,311
71	0,5	2011	1002466,482	1619696,068
72	0,5	2017	1002361,585	1619812,485
73	0,1	2017	1002294,455	1619885,962
74	0,2	2020	1002187,472	1619960,718



Numero	Cota reportada (m)	Año de reporte inundación critica	Coordenada Este	Coordenada Norte
75	0,12	2020	1002392,556	1619078,261
76	0,1	2020	1002360,188	1619070,373
77	0,32	2020	1002245,981	1619052,592
78	31	2020	1002191,586	1618886,267
79	0,2	2017	1002320,417	1619023,014
80	0,99	2017	1002410,589	1619063,444
81	0,01	2017	1002212,974	1619081,246
82	0,25	2020	1002139,441	1618956,018
83	0,27	2023	1002092,49	1618971,317
84	0,02	2017	1001953,264	1619016,102
85	0,9	2011	1001866,565	1619039,926
86	0,31	2017	1001848,221	1618993,396
87	0,29	2017	1002230,892	1618778,811
88	0,35	2020	1002218,985	1618748,834
89	0,42	2017	1001751,071	1618983,549
90	0,01	2022	1002183,784	1618649,033
91	0,5	2022	1002128,293	1618649,712
92	0,22	2020	1002169,802	1618586,053
93	0,7	2022	1002152,898	1618560,568
94	0,11	2020	1002152,544	1618519,665
95	0,15	2011	1002096,237	1618437,941
96	0,12	2011	1002065,498	1618396,128
97	1,3	2017	1001600,054	1618902,55
98	0,32	2020	1002019,888	1618490,037
99	0,22	2020	1001962,934	1618458,396
100	0,5	2020	1002018,928	1618391,005
101	0,11	2011	1001991,925	1618407,936
102	0,8	2017	1001942,188	1618405,318
103	0,9	2020	1002022,339	1618104,406
104	0,12	2017	1001988,106	1618160,271
105	0,18	2022	1002065,318	1618323,252
106	2,5	2017	1001564,804	1618843,169

Nota: Elaboración Propia (2024)

La Figura 8 muestra una fluctuación en los niveles de inundación en la zona de estudio durante los últimos años. En 2010, la cota promedio de inundación alcanzó los 1,5 metros, mientras que en 2017 descendió a 1,1 metros. En 2020, las cotas volvieron a reducirse a 1,01 metros. Finalmente, en 2022, la cota promedio aumentó nuevamente a 1,2 metros.



Figura 8

Grafica de Promedio de los niveles de Inundación – Modelo Participativo

Nota: Elaboración Propia (2024)

En la Figura 9 se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis espacial de los datos recolectados mediante encuestas comunitarias en el área urbana de Algarrobo. La encuesta aplicada estuvo orientada a caracterizar a la población objetivo considerando variables relacionadas con amenazas naturales, así como aspectos socioeconómicos y ambientales. No obstante, para el desarrollo de la investigación, la información más significativa y relevante correspondió al componente de amenazas naturales, específicamente al ítem 6.6 del cuestionario. Dicho ítem, consignado en el Anexo 1, recopila información histórica proporcionada por la comunidad sobre el comportamiento de la lámina de agua durante eventos de inundación.

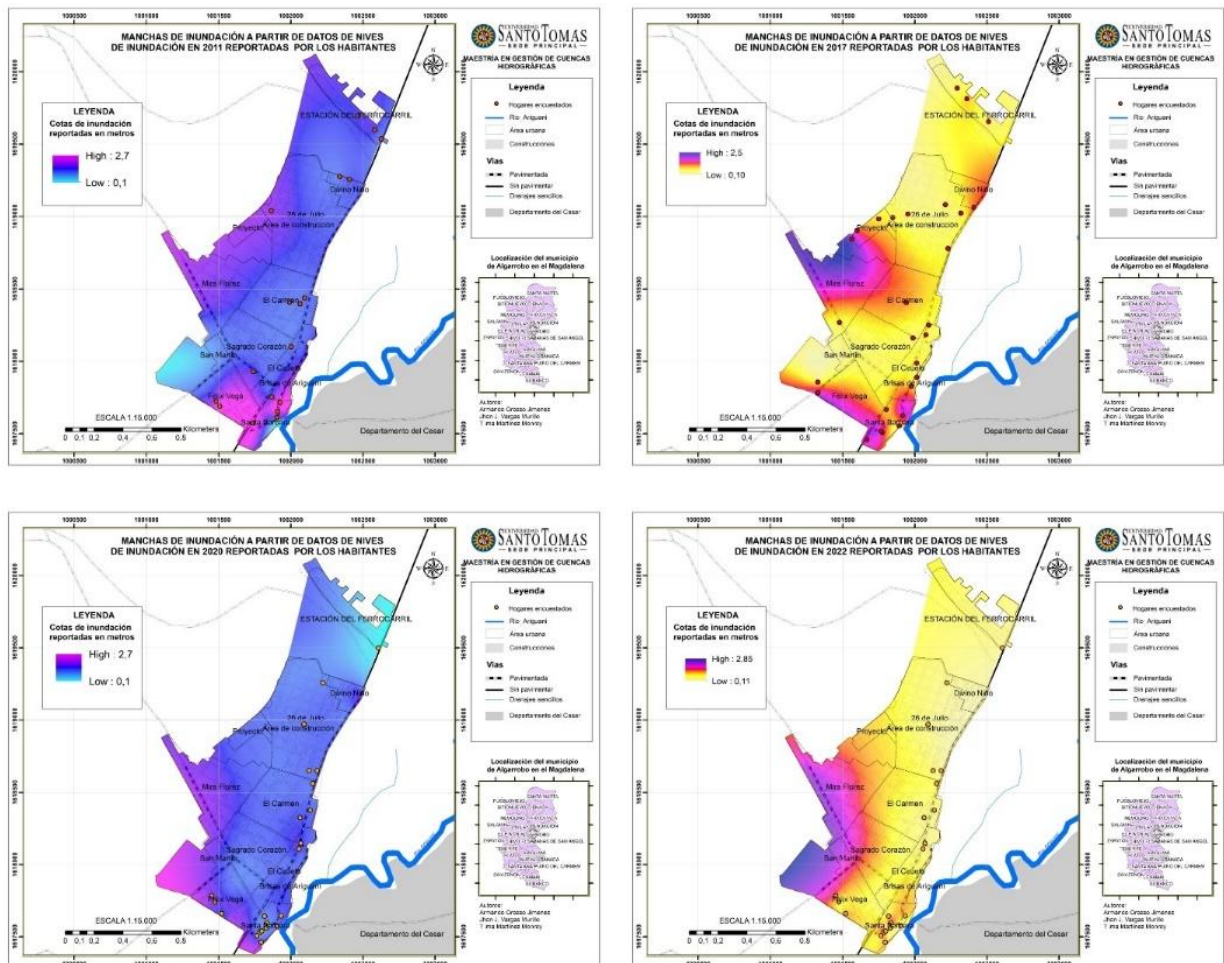
Esta información fue objeto de un proceso de sistematización en hoja de cálculo (Excel), en donde se organizaron, estructuraron y analizaron los registros obtenidos.

Utilizando técnicas de interpolación espacial, específicamente el método Spline, se generaron modelos que representan la distribución de las alturas de lámina de agua para los eventos de inundación ocurridos en los años 2011, 2017, 2020 y 2022. Estos modelos permiten identificar las zonas más afectadas según la intensidad del fenómeno. La visualización se expresa en manchas de inundación codificadas por

rangos de color que reflejan los niveles máximos y mínimos alcanzados.

El análisis comparativo de estas superficies pone en evidencia una clara correspondencia entre las zonas inundadas y los sectores históricamente identificados por la comunidad como de alta afectación. Las manchas modeladas abarcan áreas con registros previos de inundación, siendo coincidentes en su mayoría con las zonas noroccidental y sur del municipio, particularmente en barrios como Proyecto, Miraflores, Félix Vega, Santa Bárbara y Brisas de Ariguaní.

Figura 9



Mapas de Manchas de Inundación Según Conocimiento Local

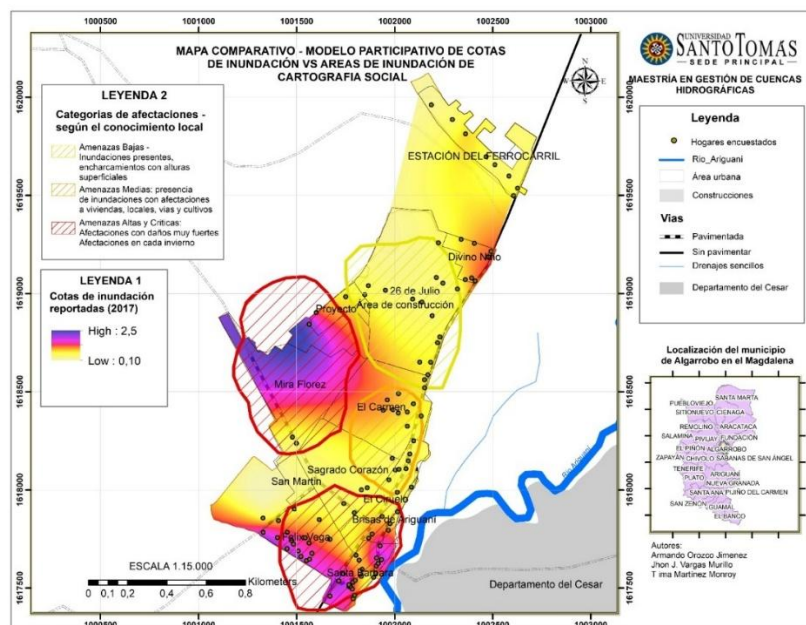
Nota: Elaboración Propia (2024)

A partir de los modelos, se presentan los datos de afectaciones por año, obteniendo los barrios afectados según el modelo de conocimiento local de inundación:

- Año 2011: Santa Bárbara, Félix Vega, Parcialmente El Ciruelo, 26 de Julio, El Carmen, Proyecto, parcialmente Sagrado Corazón y parcialmente Ferrocarril.
- Año 2017: Miraflores, 20 de Julio, El Carmen, Félix Vega, Santa Bárbara, Parcialmente El Ciruelo y Divino Niño.
- Año 2020: Miraflores, San Marco, Santa Bárbara, El Carmen y Divino Niño.
- Año 2022: Miraflores, Sagrado Corazón, San Marcos, Parcialmente Santa Bárbara y Parcialmente Brisas de Ariguaní.

Finalmente, la Figura 10 permite realizar la comparación visual entre los resultados de la Cartografía social y el modelo participativo a partir de cotas de inundación.

Figura 10



Modelo Participativo Cotas de Inundación VS Áreas de Inundación de Cartografía Social.

Nota: Elaboración Propia

6.2. Resultados Modelación Hidrodinámica

6.2.1. Análisis Estadístico de las Estaciones

Una vez identificadas las estaciones hidrométricas ubicadas sobre la corriente y cercanas al área de estudio, se procedió a evaluar la disponibilidad y calidad de los datos registrados. En este proceso, se constató que la estación Algarrobo únicamente cuenta con registros del nivel de la lámina de agua, sin información asociada a caudales. Esta ausencia de datos de caudal representa una limitación sustancial para el análisis hidrológico, ya que impide aplicar directamente técnicas de modelación que requieren series históricas de caudal confiables.

En consecuencia, cualquier intento de reconstrucción de caudales se enfrentaría a una incertidumbre significativa, tanto por la falta de información hidrométrica como por la necesidad de establecer relaciones hidráulicas indirectas que podrían introducir errores importantes en los resultados del análisis. Por lo anterior, se estudió los registros de la estación La Aurora, en donde se encuentran los valores de caudales registrados, se procedió a realizar el análisis de caudal para un rango de tiempo de 24 años iniciando desde el 1/01/1990 hasta el 31/12/2019, lo cual se considera una brecha de tiempo conservadora, ya que se observan pocos periodos de tiempos sin registros. Para el análisis se organizó la información en la Tabla 8, en donde se trabajó con los caudales máximos registrados por la estación.

De la información previamente presentada se procede a obtener los valores extremos multianuales. En seguida estos valores son ordenados, previo a realizar el ajuste estadístico.

La decisión de descartar el 10,76 % de datos faltantes identificados en la Tabla 8 responde a que corresponden a una serie continua de años sin registros disponibles, para los cuales no fue posible aplicar métodos de estimación debido a la inexistencia de estaciones cercanas que permitieran una reconstrucción confiable. En este sentido, y siguiendo a Guevara (2003), quien señala que es factible trabajar con series de tiempo que presentan hasta un 25 % de vacíos sin comprometer de manera

significativa la validez de los resultados, siempre que se apliquen criterios técnicos adecuados en su tratamiento, se consideró metodológicamente pertinente eliminar dichos periodos (10,76 % del total). Esta decisión también se sustenta en las recomendaciones de la World Meteorological Organization (2017), que establece que las series hidrometeorológicas deben tener un nivel de completitud mínimo entre 85 % y 90 % para garantizar la confiabilidad de los análisis. Si bien existen técnicas de completación de datos, diversos autores advierten que cuando los vacíos no son aleatorios o se concentran en periodos específicos, su estimación puede introducir sesgos y distorsionar la variabilidad real del clima (Wilks, 2011; Little & Rubin, 2002). De esta manera, los análisis posteriores se realizan sobre una base de información más confiable, homogénea y consistente, en concordancia con los estándares internacionalmente aceptados en hidrología.

Para la estación pluviométrica seleccionada, la prueba de Mann-Kendall indicó que no existe una tendencia significativa en la serie analizada, dado que no se encontró evidencia estadísticamente suficiente para rechazar la hipótesis nula de ausencia de tendencia. Ver Figura 11

Tabla 8

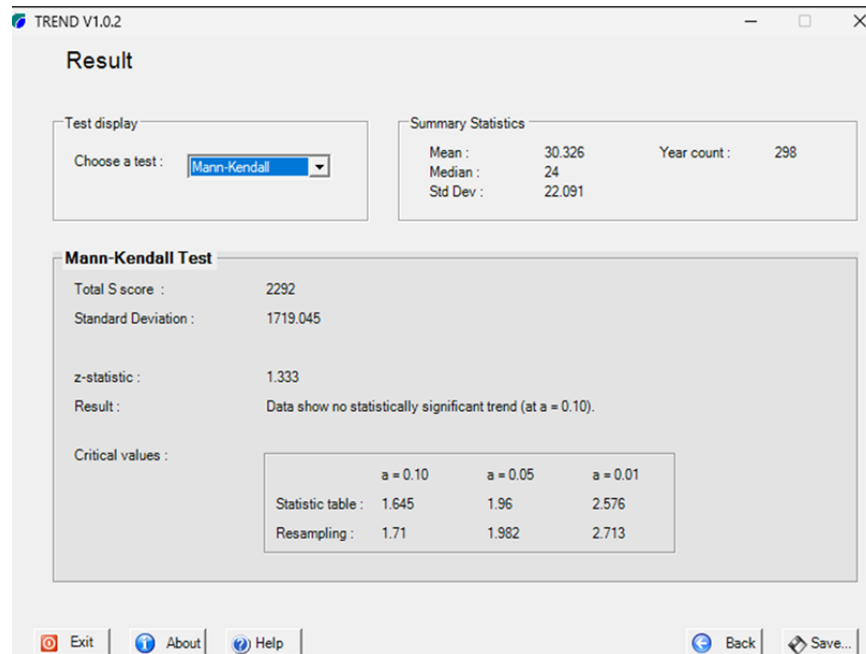
Series de Caudales Máximos Mensuales Estación la Aurora

Año	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR MAX ANUAL
1990	14.92	22.30		70.00	70.00	48.90	22.30	52.40	39.25	59.92	86.50	63.80	86.50
1991	22.60	13.40	24.40	31.25	77.80	25.00	17.00	13.40	94.00	37.50	39.00	26.80	94.00
1993	38.30	18.00	17.00	30.60	86.80	56.40	100.50	90.40	59.80	37.50	97.90	98.50	100.50
1994	15.65	16.10	17.00	22.00	42.80	17.00	15.20	24.40	44.40	68.80	39.00	16.55	68.80
1995	74.20	7.36	17.00	18.00	37.50	65.20	91.30	91.30	41.25	99.55	29.30	18.00	99.55
1996	12.50	12.11	23.20	12.50	17.00	53.20	61.60	30.03		6.68	1.00		61.60
1997	18.40	17.00	20.64	28.70	21.48	51.95	17.00	26.35				8.30	51.95
1998	16.60	17.12	41.50	20.50	19.20	19.20	23.20	25.16	28.80	29.06	29.06	33.26	41.50
1999	17.12	19.98	21.58	38.20	16.65	20.91	20.17	20.54	25.66	25.66	25.66	27.10	38.20
2000	7.58	7.22	34.50	15.99	14.44	8.52	5.60	13.20	10.28	15.37	34.50	16.65	34.50
2001	5.60	3.65	8.74	3.80	9.18	4.55	2.50	5.60					9.18
2002	4.25	5.78	4.40	5.24	5.24	4.10	2.64	9.18					9.18
2003				7.40	7.22	11.04	9.84	14.13	13.82	17.00	12.12	14.44	17.00
2004	15.19	11.16	16.63	22.77	25.03	20.39	21.28	42.67	43.86	21.58	28.30	20.69	43.86
2005	15.48	12.82	18.53	16.63	19.80	22.77	22.77	16.06	28.60	30.14	34.95	22.47	34.95
2006	16.06	20.99	22.18	31.06	34.30	27.70	23.90	30.14	29.22	33.64	36.43	18.22	36.43
2007	16.06	13.76	32.99	21.88	21.88	20.39	19.48	24.19	31.68	37.33	37.03	20.10	37.33
2008	18.22	16.63	34.95	22.47	26.80	22.77	25.60	20.69	34.95	20.99	26.20	26.80	34.95
2009	17.90	14.91	22.77	26.20	27.40	26.20	25.32	26.50	22.77	16.34	21.28	14.62	27.40
2010	13.29	11.40	19.80	25.60	25.60	34.95	31.68	34.95				34.95	34.95
2011	33.50	32.65	21.50	29.25	15.25	21.50	32.65	33.50	48.60	49.75	50.90	55.50	55.50
2012	22.20	18.70	21.50	26.70	25.85	31.80	38.75			38.75	20.80	23.60	38.75
2013	12.05	13.60	40.85	30.10	42.95			48.60	31.80	30.10			48.60
2019			31.00	50.25	41.50		22.50	60.75	32.05	98.00			98.00
Promedio	19.44	14.85	23.30	25.30	30.49	27.93	28.38	32.79	36.71	38.68	36.11	29.49	50.13
Máximos	74.20	32.65	41.50	70.00	86.80	65.20	100.50	91.30	94.00	99.55	97.90	98.50	100.50
Mínimos	4.25	3.65	4.40	3.80	5.24	4.10	2.50	5.60	10.28	6.68	1.00	8.30	9.18

Fuente: IDEAM, Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos



Figura 11



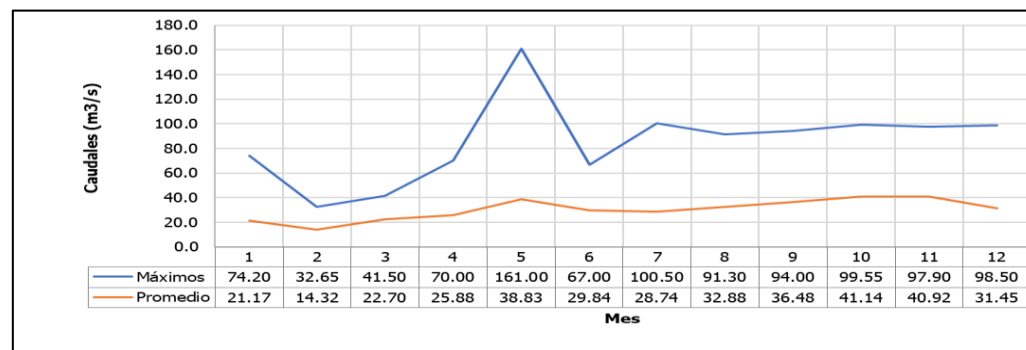
Análisis estadístico del test Mann-Kendall, mediante el software Trend V.1.0.2

Nota: Elaboración Propia (2024)

6.2.2. Resultado del Análisis Estadístico

De las verificaciones de los registros de caudales obtuvimos la Figura 12 gráficas correspondientes al análisis de los caudales para un año de registro, en donde se puede observar la tendencia del comportamiento de los caudales.

Figura 12



Gráfica de Registro del Comportamiento de los Caudales en un Año de Registro

Resultados Pruebas Bondad de Ajuste. Los resultados obtenidos para cada una de las distribuciones de probabilidad se presentan en la Tabla 9. Se observa, que todas las distribuciones no rechazan la hipótesis nula para cada una de las pruebas de ajuste aplicadas, razón por la cual todas cumplen con los niveles de ajuste deseados.

Tabla 9

Resultados Test Kolmogorov-Smirnov

FDP	Diferencia entre Dc y			Ajuste K-S	R ²
Ajustada	Dc	Dt	Dt		
Gumbel	0.096	0.260	0.164	Se Acepta H0	0.969
Pearson Tipo III	0.102	0.260	0.157	Se Acepta H0	0.971

Con los resultados obtenidos se encuentra que la FDP que mejor se ajusta para ambos análisis de valores extremos es Pearson Tipo III, por lo que para el análisis de caudales proyectados se considerará desarrollar los futuros modelos con la FDP que presento mejor resultado en el análisis de Bondad y Ajuste.

Hidrogramas. Con base en el análisis estadístico realizado, se determinó que la Función de Distribución de Probabilidad (FDP) de Gumbel presentó un mejor ajuste a los datos obtenidos por la estación hidrometeorológica, en comparación con la FDP Pearson Tipo III. En consecuencia, se optó por utilizar los valores derivados del ajuste con Gumbel para la elaboración del hidrograma de caudales, empleando como base el hidrograma unitario propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS). A partir de este procedimiento, se obtuvo los valores dados en la Tabla 10 y la gráfica de la Figura 13.

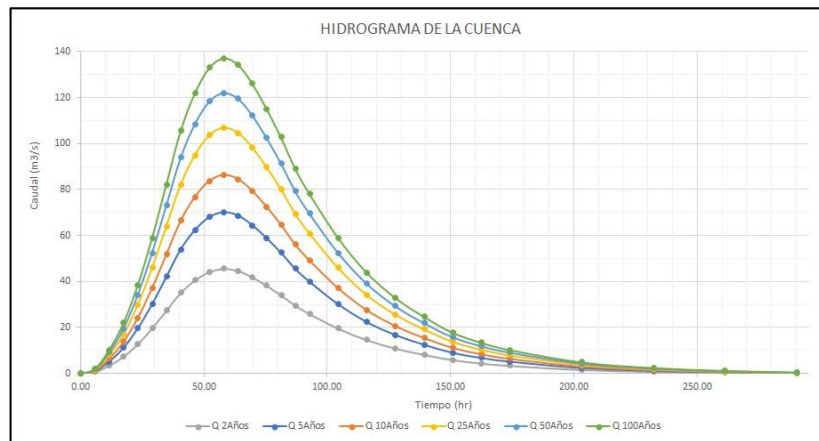
Tabla 10



Valores de caudales por periodos de retorno

Hr	Q 2Años (m ³ /s)	Q 5Años (m ³ /s)	Q 10Años (m ³ /s)	Q 25Años (m ³ /s)	Q 50Años (m ³ /s)	Q 100Años (m ³ /s)
0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5.81	0.68368	1.05114	1.29443	1.60183	1.82988	2.05624
11.61	3.41841	5.25571	6.47217	8.00916	9.14939	10.28120
17.42	7.29261	11.21219	13.80729	17.08620	19.51869	21.93322
23.23	12.76207	19.62133	24.16275	29.90086	34.15771	38.38313
29.03	19.59889	30.13275	37.10708	45.91917	52.45648	58.94552
34.84	27.34729	42.04570	51.77732	64.07326	73.19509	82.24956
40.65	35.09568	53.95864	66.44757	82.22735	93.93370	105.55361
46.46	40.56514	62.36778	76.80303	95.04200	108.57272	122.00352
52.26	44.21145	67.97388	83.70667	103.58511	118.33206	132.97013
58.07	45.57881	70.07616	86.29554	106.78877	121.99182	137.08261
63.88	44.66723	68.67464	84.56963	104.65299	119.55198	134.34095
69.68	41.93251	64.47007	79.39190	98.24567	112.23247	126.11600
75.49	38.28620	58.86398	72.48825	89.70257	102.47313	115.14939
81.30	34.18411	52.55712	64.72166	80.09158	91.49386	102.81195
87.10	29.62623	45.54951	56.09210	69.41270	79.29468	89.10369
92.91	25.97992	39.94341	49.18846	60.86960	69.53533	78.13709
104.52	19.59889	30.13275	37.10708	45.91917	52.45648	58.94552
116.14	14.58522	22.42437	27.61457	34.17241	39.03738	43.86643
127.75	10.93891	16.81828	20.71093	25.62930	29.27804	32.89983
139.37	8.20419	12.61371	15.53320	19.22198	21.95853	24.67487
150.98	5.92525	9.10990	11.21842	13.88254	15.85894	17.82074
162.59	4.46672	6.86746	8.45696	10.46530	11.95520	13.43410
174.21	3.41841	5.25571	6.47217	8.00916	9.14939	10.28120
203.24	1.64084	2.52274	3.10664	3.84440	4.39171	4.93497
232.28	0.82042	1.26137	1.55332	1.92220	2.19585	2.46749
261.31	0.41021	0.63069	0.77666	0.96110	1.09793	1.23374
290.35	0.18232	0.28030	0.34518	0.42716	0.48797	0.54833

Figura 13



Hidrograma de la cuenca del río Ariguani para diferentes periodos de retorno

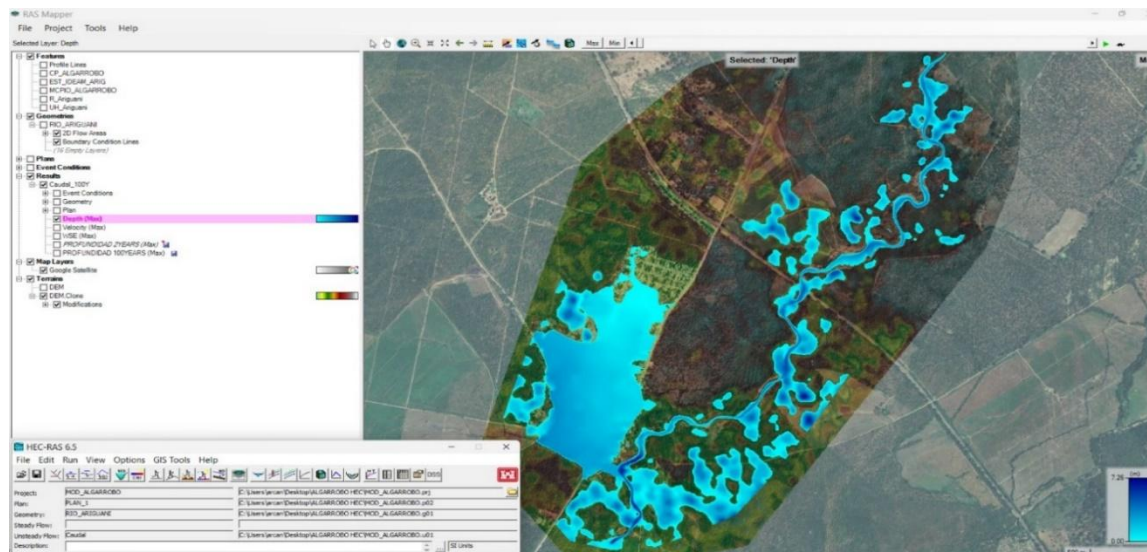
Fuente: Elaboración propia (2025)

6.2.3. Resultado Modelación Hidrodinámica del Río Ariguani

En la Figura 14 se obtuvo una mancha de inundación correspondiente al lecho del río Ariguani, de

la imagen se puede apreciar que una parte del pueblo logra inundarse considerablemente, alcanzando profundidades promedio de hasta 1.30 metros en los puntos más críticos del centro poblado.

Figura 14



Representación del Modelo de Inundación HEC-RAS Municipio de Algarrobo $T_r = 100$ años

6.2.4. Comparación y Validación de la Mancha de Inundación

En este ejercicio se evidenció una relación significativa entre los resultados obtenidos a partir de la simulación hidrodinámica y la información suministrada por los habitantes del casco urbano del municipio de Algarrobo. Es importante precisar que el objetivo del estudio se limita exclusivamente al área urbana del municipio, razón por la cual la consulta se enfocó en esta población específica, cuya exposición a eventos de inundación resulta directamente relevante para la validación del modelo.

Aunque no se dispone de información precisa sobre el período de retorno asociado a la mancha histórica referida por la comunidad, se evidenció que la representación más cercana en los modelos fue la correspondiente a un período de retorno de 100 años. Por tanto, se llevó a cabo un análisis comparativo entre ambas aproximaciones.

Los resultados obtenidos en la Figura 15 permitieron delinear las manchas de inundación

Nota: Elaboración propia

- Para el PR 2 años, se registran afectaciones espacializadas con profundidades máximas de hasta 2.68 m al suroeste del municipio en el barrio Félix Vega. Este escenario refleja una amenaza moderada con implicaciones sobre la movilidad del sector.
- En el PR 5 años, la expansión lateral es significativa, alcanzando profundidades de hasta 3.0m y extendiéndose un poco más al norte. Este evento representa una amenaza estructural y plantea riesgos críticos para la resiliencia comunitaria.
- El PR 10 años, se evidencia una ampliación territorial hacia el barrio 26 de Julio, donde la amenaza poblacional es relevante alcanzando cotas de inundación en este sector de 0.78m y en la zona agrícola al sur de 3.0m en el barrio Felix Vega.
- A partir del PR 25 años, la mancha presenta una cobertura homogénea con afectación severa sobre sectores como San Carlos y Miraflores, alcanzando profundidades de aproximadamente 3.0m.

2.25 m.

- Para el PR 50 años, la amenaza adquiere carácter crítico. Se alcanzan profundidades de hasta 3.28 m en barrios Felix Vega hasta el barrio Miraflores cubriendo el barrio Santa Barbara.
- Finalmente, el escenario de PR 100 años representa una crecida extrema con profundidades de hasta 3.52 m, abarcando de forma generalizada sectores gran parte del casco urbano, siendo el Barrio Divino Niño el menos afectados durante este periodo de retorno. Este evento compromete infraestructura esencial y justifica la implementación de medidas de ordenamiento restrictivo.

Las manchas de inundación representadas en la Figura 15 muestran un comportamiento espacial relativamente homogéneo para los escenarios asociados a los tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. En estos escenarios, se observa una mayor intensidad de afectación en las zonas sur, suroccidental y noroccidental del área urbana, donde las profundidades modeladas alcanzan los valores más elevados. Dentro de estas áreas se destacan los barrios Proyecto, Miraflores, San Martín, Sagrado Corazón y Santa Bárbara, los cuales presentan una recurrencia significativa de inundaciones bajo dichos periodos de retorno.

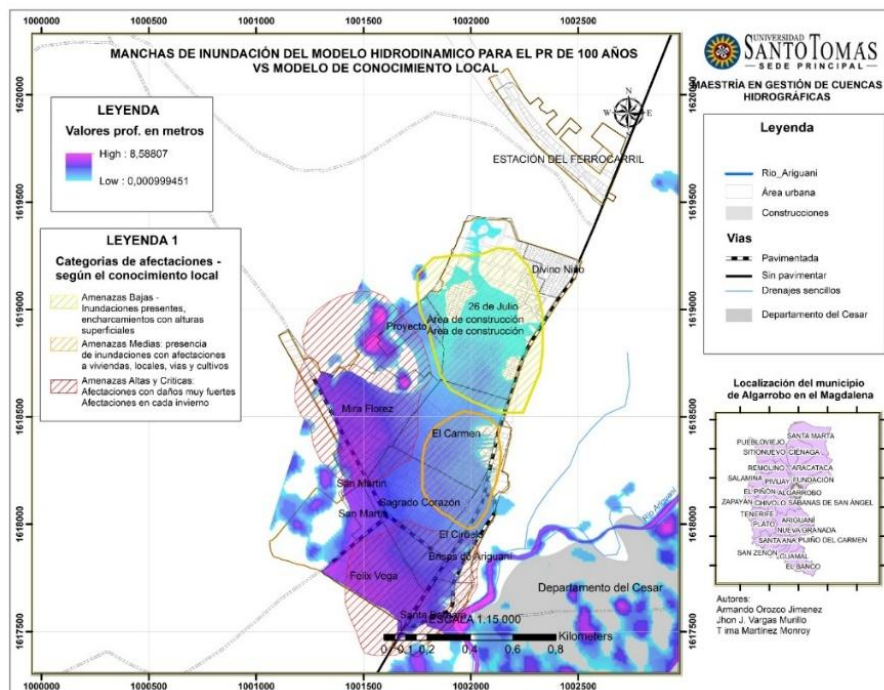
En contraste, los barrios ubicados en el sector norte del área urbana como 26 de Julio, Ferrocarril y Divino Niño no evidencian niveles de amenaza por inundación en los mismos escenarios, según los resultados obtenidos mediante el modelo hidrodinámico.

Teniendo en cuenta lo anterior, el escenario correspondiente al periodo de retorno de 100 años revela un patrón de inundación diferenciado, caracterizado por una expansión de la mancha hacia el sector norte del área urbana. Este comportamiento incorpora parcialmente zonas de los barrios 26 de Julio y proyecto, lo que representa un cambio significativo respecto a los escenarios de menor recurrencia. Este hallazgo resulta de especial relevancia para la investigación, ya que dicha extensión coincide con las



zonas identificadas como expuestas en el modelo participativo construido con base en el conocimiento local de la comunidad.

Figura 16



Mapa comparativo manchas de inundación TR 100 años vs modelo de conocimiento local.

Con base en los resultados obtenidos, se llevó a cabo un análisis comparativo entre la mancha de inundación correspondiente al escenario de 100 años de periodo de retorno y la representación empírica generada a partir del conocimiento local, construida mediante metodologías participativas. Esta comparación se realizó mediante análisis visual e interpretación cartográfica, evaluando la concordancia espacial entre ambas fuentes de información.

Figura 17

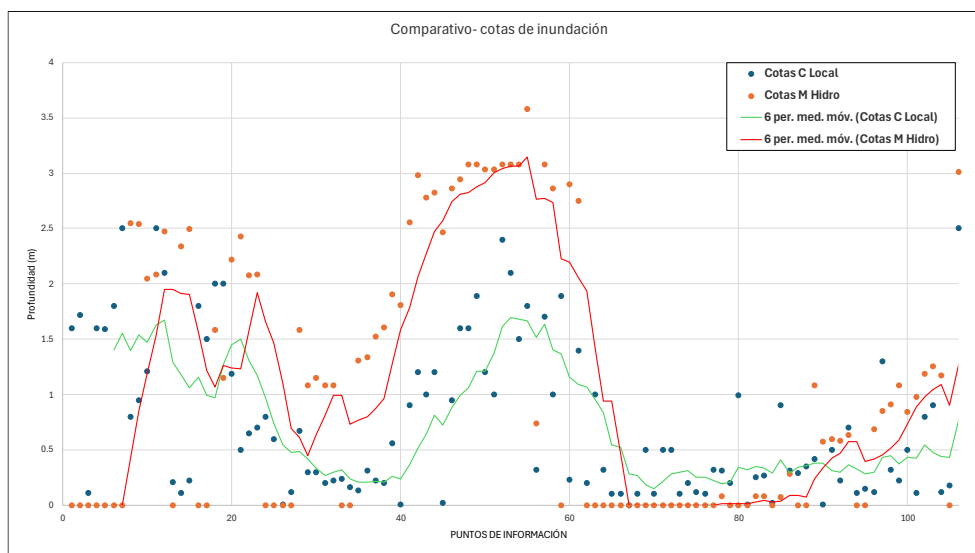


Gráfico de tendencia de los valores de conocimiento local vs resultado simulación hidrodinámica

Los resultados de la Figura 17 evidencian una alta similitud en el comportamiento de ambas representaciones, especialmente en las zonas donde se registran mayores niveles de afectación. Las áreas con tonalidades más intensas en el modelo hidrodinámico (ver Figura 16), indicativas de mayores profundidades de inundación, coinciden con las zonas clasificadas en el rango de alta amenaza dentro del modelo de conocimiento local. En particular, se identificó esta correspondencia en los barrios Proyecto, Miraflores, San Martín, Feliz Vega, Santa Bárbara, El Ciruelo, Brisas de Ariguaní, Sagrado Corazón y, notablemente, en el barrio 26 de Julio, ubicado en el sector norte del área urbana de estudio.

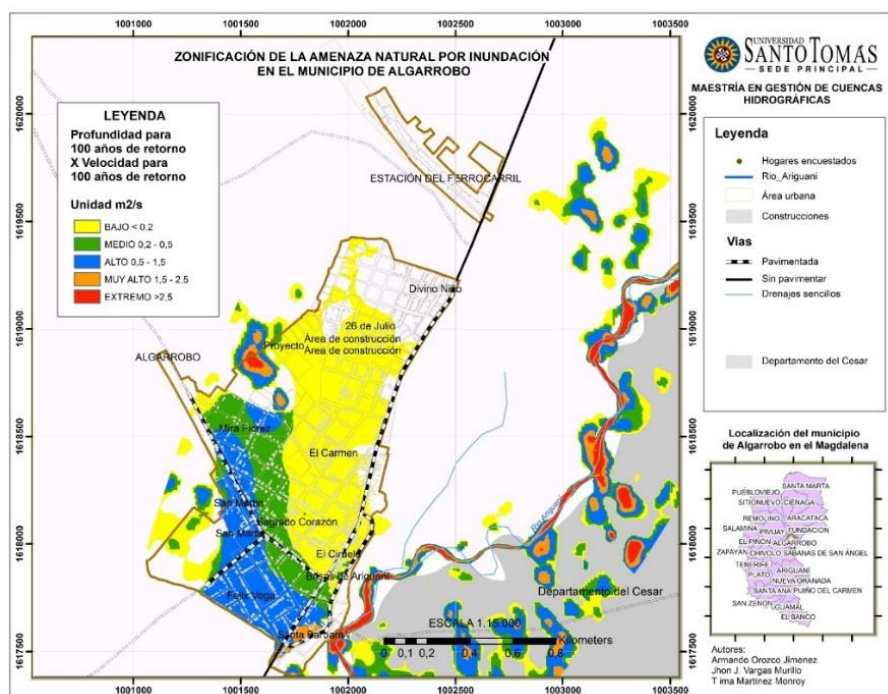
La similitud espacial observada en la mayoría del casco urbano entre ambos modelos (ver Figura 16) respalda la validez del escenario de 100 años como el más representativo para efectos de planificación del territorio y gestión del riesgo. Por tanto, se consolida esta mancha de inundación como el insumo técnico principal para la zonificación de la amenaza por inundación dentro del área de análisis.

6.2.5. Zonificación de Amenaza por Inundación

En la Figura 18 se representa la zonificación de Amenaza por Inundación en el Municipio de

Algarrobo, este mapa tiene como finalidad identificar y clasificar las zonas del municipio que presentan distintos niveles de amenaza por inundación ante un evento extremo con un período de retorno de 100 años.

Figura 18



Zonificación de Amenaza por Inundación en el Municipio de Algarrobo – Profundidad para 100 años de retorno.

Se observa que las áreas con mayor nivel de amenaza, representadas en tonalidad azul, se concentran principalmente en el sector suroccidental, mientras que una zona crítica de amenaza extrema, indicada en color rojo, se localiza en el sector noroccidental del área urbana. En contraste, los niveles de amenaza disminuyen progresivamente hacia el sector norte del municipio, donde predominan zonas categorizadas con amenaza baja, representadas en color amarillo.

En la tabla 11 se presentan los resultados detallados de la zonificación de amenaza por inundación



para el casco urbano de Algarrobo con una extensión total de 154,96 hectáreas, estos constituyen un insumo clave para la planificación territorial y la gestión de amenazas naturales en el área de estudio.

También se observa una franja de alta amenaza a lo largo del margen oriente del río Ariguaní y en zonas rurales cercanas.

Tabla 11

Resultados de la zonificación por amenaza de inundación por Barrios en el casco urbano de Algarrobo

1	BARRIO: 26 DE JULIO			
	CATEGORÍA	ÁREA DE INUNDACIÓN ha	% SOBRE EL ÁREA DEL BARRIO	% SOBRE EL CASCO URBANO
	BAJO	17,97	55,70	11,60%
	MEDIO			
	ALTO			
	MUY ALTO			
	EXTREMO			
	AREA TOTAL	32,26	55,70	
2	BARRIO: CONSTRUCCIÓN			
	CATEGORÍA	ÁREA DE INUNDACIÓN ha	% SOBRE EL ÁREA DEL BARRIO	% SOBRE EL CASCO URBANO
	BAJO	0,22	99,87	0,14%
	MEDIO			
	ALTO			
	MUY ALTO			
	EXTREMO			
	AREA TOTAL	0,22		
3	BARRIO: BRISAS DE ARIGUANÍ			
	CATEGORÍA	ÁREA DE INUNDACIÓN ha	% SOBRE EL ÁREA DEL BARRIO	% SOBRE EL CASCO URBANO
	BAJO	0,05	4,11	0,03%
	MEDIO	0,01	0,49	0,00%
	ALTO			
	MUY ALTO			
	EXTREMO			
	AREA TOTAL	1,16	4,59	
4	BARRIO: EL CARMEN			
	CATEGORÍA	ÁREA DE INUNDACIÓN ha	% SOBRE EL ÁREA DEL BARRIO	% SOBRE EL CASCO URBANO
	BAJO	14,96	84,86	9,65%



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

MEDIO	0,50	2,82	0,32%
ALTO			
MUY ALTO			
EXTREMO			
AREA TOTAL	17,63	87,68	

5

BARRIO: EL CIRUELO

CATEGORÍA	ÁREA DE INUNDACIÓN	% SOBRE EL ÁREA DEL BARRIO	% SOBRE EL CASCO
	ha		URBANO
BAJO	5,22	60,30	3,37%
MEDIO	2,02	23,34	1,30%
ALTO	0,55	6,40	0,36%
MUY ALTO			
EXTREMO			
AREA TOTAL	8,66	90,03	

6

BARRIO: FELIX VEGA

CATEGORÍA	ÁREA DE INUNDACIÓN	% SOBRE EL ÁREA DEL BARRIO	% SOBRE EL CASCO
	ha		URBANO
BAJO	0,02	0,18	0,01%
MEDIO	0,28	2,46	0,18%
ALTO	10,79	95,97	6,97%
MUY ALTO	0,01	0,06	0,00%
EXTREMO			
AREA TOTAL	11,25	98,67	

7

BARRIO: MIRA FLORES

CATEGORÍA	ÁREA DE INUNDACIÓN	% SOBRE EL ÁREA DEL BARRIO	% SOBRE EL CASCO
	ha		URBANO
BAJO	2,36	11,37	1,52%
MEDIO	7,22	34,75	4,66%
ALTO	6,17	29,70	3,98%
MUY ALTO	0,15	0,73	0,10%
EXTREMO			
AREA TOTAL	20,77	76,56	

8

BARRIO: PROYECTO

CATEGORÍA	ÁREA DE INUNDACIÓN	% SOBRE EL ÁREA DEL BARRIO	% SOBRE EL CASCO
	ha		URBANO
BAJO	2,12	70,11	1,37%
MEDIO	0,24	7,91	0,15%
ALTO	0,18	6,10	0,12%
MUY ALTO	0,24	8,04	0,16%
EXTREMO	0,12	4,09	0,08%
AREA TOTAL	3,02	96,26	

9

BARRIO: SAGRADO CORAZÓN

CATEGORÍA	ÁREA DE INUNDACIÓN	% SOBRE EL ÁREA DEL BARRIO	% SOBRE EL CASCO
	ha		URBANO



BAJO	7,22	46,00	4,66%
MEDIO	7,08	45,06	4,57%
ALTO	1,38	8,82	0,89%
MUY ALTO			
EXTREMO			
AREA TOTAL	15,70	99,87	
BARRIO: SAN MARTIN			
	ÁREA DE INUNDACIÓN		% SOBRE EL CASCO
10 CATEGORÍA	ha	% SOBRE EL ÁREA DEL BARRIO	URBANO
BAJO	0,00	0,17	0,00%
MEDIO	0,00	0,19	0,00%
ALTO	2,33	95,74	1,50%
MUY ALTO			
EXTREMO			
AREA TOTAL	2,44	96,10	

En la Tabla 11 se presentan los resultados de la zonificación por amenaza de inundación por barrios en el casco urbano de Algarrobo, esta zonificación permitió clasificar los barrios en cinco niveles de afectación: bajo, medio, alto, muy alto y extremo, con base en el porcentaje de área expuesta dentro de cada sector. Los resultados evidencian una heterogeneidad espacial en la distribución de las amenazas:

Barrios Predominantemente Afectados por Amenaza Baja.

- El barrio construcción presenta el 99,87% de su área bajo amenaza baja, seguido de El Carmen con un 84,86% y Proyecto con 70,11%.
- En el barrio 26 de Julio, la amenaza baja cubre el 55,70%, sin reportes de niveles superiores.

Barrios con Amenaza Combinada Baja y Media.

- El Barrio el Ciruelo muestra un 60,30% de amenaza baja, un 23,34% en amenaza media y un 6,40% en amenaza alta.
- El barrio Sagrado Corazón evidencia una distribución equilibrada: 46% en amenaza baja y 45,06% en media, lo que indica una alta susceptibilidad a eventos de intensidad

Barrios con Mayor Concentración de Amenaza Alta.

- El barrio Félix Vega presenta una situación crítica, con un 95,97% del área en amenaza alta y un 0,06% en muy alta, evidenciando alta exposición a eventos severos.
- El barrio San Martín tiene un 95,74% de su superficie en amenaza alta, sin registros en otras categorías relevantes.

Sectores con amenaza diversificada.

- El barrio Miraflores distribuye su amenaza en baja con 11,37%, media con 34,75%, alta con 29,70% y muy alta con 0,73%, reflejando una alta variabilidad del riesgo interno al barrio.
- El barrio Proyecto incluye niveles de amenaza desde baja hasta extremo, destacando un 4,09% del área en categoría extrema.

Barrios con Amenaza Mínima o Localizada.

- En el barrio Brisas de Ariguaní, la amenaza es principalmente baja con un 4,11% y amenaza media con 0,49%, afectando solo el 4,59% del total del barrio.

Estos resultados reflejan la dinámica de la amenaza por inundación en Algarrobo, donde los barrios localizados en zonas de acumulación de escorrentías o cercanos al río Ariguaní presentan mayor afectación en niveles altos y muy altos, como Félix Vega y San Martín. Por el contrario, sectores ubicados en áreas más elevadas o con mejor drenaje superficial, como 26 de Julio, Divino Niño y El Carmen, registran principalmente amenaza baja.

Discusión

La presente sección expone el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el marco del estudio sobre la amenaza por inundación en el área urbana del municipio de Algarrobo. Dando respuesta al cumplimiento de los objetivos planteados en el proyecto.

La aplicación del conocimiento local como insumo principal para la generación de un modelo espacial de amenaza por inundación representó un enfoque innovador y participativo. La recopilación de experiencias comunitarias mediante cartografía social y encuestas permitió identificar, con precisión temporal y espacial, los eventos de inundación más significativos percibidos por la población residente en el área urbana.

La sistematización de los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos a partir del conocimiento local, presentados en el Anexo 1 y en los resultados del modelo de participación del documento, permitió transformar la memoria colectiva en un insumo técnico de gran valor. Este proceso correspondió específicamente a la sistematización de los datos recopilados mediante la encuesta referentes a los niveles de la lámina de agua, a partir de la creación de una tabla de cotas de inundación (ver tabla 7 p. 59-61), la cual constituyó el insumo para la espacialización de las alturas de lámina de agua mediante software geográfico empleando técnicas de interpolación espacial - método spline (p. 48 y 49) A partir de esta base, fue posible identificar los años más críticos en cuanto a inundaciones según la población encuestada, georreferenciar los niveles máximos alcanzados y convertir las percepciones locales en cartografía presentada en los mapas de manchas de inundación según conocimiento local (Ver figura 9 p. 63) y demás mapas que permiten presentar un modelo de participación social.

La representación espacial de las alturas de lámina de agua, obtenida mediante interpolación Spline, mostró una alta coincidencia con los esquemas gráficos elaborados por los propios residentes. Sin embargo, se identificaron diferencias puntuales entre los modelos de participación local, particularmente

en zonas propensas a inundación como los barrios Félix Vega, Miraflores, Santa Bárbara, Brisas de Ariguaní, El Carmen y 26 de Julio.

El modelo participativo, aun con sus limitaciones, como la subjetividad a la que se expone la información suministrada en casos donde no hay evidencias físicas de la altura de la lámina de agua e incluso la precisión de algunos registros. Constituye un insumo para la validación cualitativa del modelo hidrodinámico y para la interpretación de los resultados de zonificación de la amenaza por inundaciones, especialmente en contextos donde no se cuenta con registros hidrometeorológicos suficientes o confiables que permitan realizar dicha validación por métodos convencionales. Además, este enfoque fortalece la apropiación comunitaria del proceso de planificación territorial y aporta insumos para el diseño de políticas y estrategias de mitigación. No obstante, debe reconocerse que este tipo de información está sujeta a limitaciones como la subjetividad de la memoria histórica.

Con el desarrollo del modelo hidrodinámico, se dio cumplimiento al segundo objetivo específico de la investigación, el cual permitió estimar la profundidad y extensión de la lámina de agua asociada a diferentes escenarios de inundación. Los resultados indican que la amenaza alta se concentra en zonas donde el flujo presenta baja pendiente, pérdida de confinamiento del cauce y condiciones topográficas que favorecen la acumulación y expansión del agua, especialmente hacia el suroccidente del municipio, con profundidades superiores a 1,5 m para un período de retorno de 100 años.

Durante el desarrollo del modelo no fue posible realizar una calibración rigurosa, debido a la ausencia de registros hidrológicos y/o hidráulicos oficiales en el área de estudio. Es importante aclarar que esta ausencia se refiere específicamente a la falta de información sobre niveles de agua e inundaciones dentro del casco urbano del municipio de Algarrobo. Si bien la estación hidrometeorológica La Aurora, ubicada aguas arriba y por fuera del municipio, proporciona datos útiles para la estimación de caudales en ese tramo del río, dichos registros no son suficientes para representar con precisión las

condiciones de inundación locales. Esta es la única estación del río Ariguaní por lo que se utilizó como condición de frontera aguas arriba, sin embargo, aguas abajo no se cuenta con datos que permitan realizar dicha calibración.

De acuerdo con la literatura especializada (Chow et al., 1988), la calibración efectiva de modelos hidráulicos de inundación requiere datos específicos de niveles de agua y extensión de las inundaciones en el área modelada. En consecuencia, pese a la disponibilidad de información hidrometeorológica de caudal en la estación La Aurora, la carencia de registros hidráulicos locales en el casco urbano limita la posibilidad de llevar a cabo una calibración adecuada del modelo en el contexto particular del municipio de Algarrobo.

Este tipo de información es fundamental para validar la precisión del modelo frente a eventos reales. Ante esta limitación, se optó por una verificación cualitativa del modelo, utilizando la información suministrada por los habitantes del casco urbano. Los testimonios de la comunidad, especialmente en relación con las zonas históricamente afectadas, permitieron realizar una comparación general entre los resultados simulados y las condiciones reportadas por los residentes.

En cuanto al tercer objetivo específico, la zonificación de la amenaza por inundación en el municipio de Algarrobo representada por la mancha de inundación de 100 años (altura/velocidad), revela un panorama de exposición significativa a la amenaza hídrica, con implicaciones importantes para la planificación territorial. El mapa presentado en la Figura 18 permite identificar claramente la distribución espacial de los niveles de amenaza, siendo clave para la formulación de estrategias de reducción del riesgo y priorización de intervenciones.

Los mapas obtenidos a partir del conocimiento local (Figura 10) y los generados mediante la simulación hidrodinámica (Figura 17) son considerados complementarios. El primero proporciona una visión empírica desde la comunidad, útil para fortalecer la gobernanza del riesgo, la educación ambiental

y la planificación participativa. El segundo, con base científica sólida, resulta fundamental para tomar decisiones técnicas relacionadas con infraestructura, gestión del territorio y obras de mitigación.

Luego de realizar un análisis comparativo entre ambas aproximaciones o modelos se sugiere que las reconstrucciones basadas en la memoria colectiva pueden ser una fuente preliminar útil para estimar escenarios de amenaza por inundación, especialmente en territorios donde no se cuenta con la calidad ni cantidad de información hidrometeorológica suficiente para realizar modelaciones detalladas y calibradas.

Conclusiones

El estudio logró construir una representación espacial de la amenaza por inundación en el municipio de Algarrobo mediante la combinación de conocimiento local y modelación hidrodinámica, esta integración fortaleció la participación comunitaria en el proceso de evaluación de la amenaza.

La información recopilada a través de encuestas permitió identificar zonas históricamente afectadas por eventos de inundación, las cuales fueron espacializadas con el método Spline. Esta aproximación evidenció la utilidad de los saberes comunitarios como insumo complementario para la identificación de la amenaza, especialmente en contextos donde los registros instrumentales son limitados o incompletos.

Los resultados obtenidos evidencian la necesidad de incorporar los mapas de amenaza en el instrumento de ordenamiento territorial (EOT) del municipio. Esto contribuiría a reducir la exposición de la población y guiar un desarrollo urbano más seguro y resiliente.

Recomendaciones

La presente investigación permite realizar las siguientes recomendaciones a partir del trabajo desarrollado en el casco urbano del municipio de Algarrobo, departamento del Magdalena:

Para futuras investigaciones orientadas a la generación de cartografía de amenazas por inundación a partir de información comunitaria, se recomienda ampliar la estrategia de captura de datos en campo mediante un enfoque más extensivo y representativo del área de estudio. Es fundamental evitar la concentración de registros en sectores puntuales o previamente identificados como zonas críticas, y en su lugar, cubrir de manera equitativa toda la superficie urbana o territorial, incluyendo aquellas áreas donde no se reportan antecedentes claros de inundación.

Aunque en algunos sectores la información preliminar pueda no evidenciar eventos de anegación, el levantamiento de datos en estas zonas resulta esencial para la construcción de una nube de puntos más densa y distribuida uniformemente, lo que fortalece la precisión y confiabilidad de los modelos espaciales generados mediante técnicas de interpolación geográfica. Este enfoque amplio permite capturar mejor las transiciones espaciales y mejora la capacidad predictiva de los modelos basados en participación comunitaria.

Implementar estas recomendaciones contribuirá a enriquecer los modelos espaciales participativos, aumentar la robustez de los análisis y mejorar la utilidad de los productos cartográficos resultantes para la toma de decisiones en gestión del riesgo y ordenamiento territorial.

Para futuras investigaciones se recomienda hacer una caracterización completa de las cuencas para así determinar información más específica del comportamiento de las inundaciones, integrando la información recolectada a un sistema de información geográfica S.I.G. en el que se sugiere trabajar con base en un modelo digital de elevación con una resolución espacial más detallada.

Fortalecer la red de monitoreo hidrometeorológico por parte de IDEAM y las autoridades ambientales (Corpamag y Corpocesar) la instalación o rehabilitación de estaciones hidrometeorológicas con registro continuo de caudales y niveles en el río Ariguaní, especialmente en puntos críticos como el área urbana de Algarrobo.

Capacitar a la comunidad sobre la amenaza de inundación, su impacto y las acciones preventivas, utilizando herramientas visuales como los mapas generados en este estudio. El conocimiento fortalece la preparación y la respuesta colectiva frente a emergencias.

Se recomienda tener en cuenta los resultados de esta investigación en la generación de los próximos planes de gestión del riesgo, planes de desarrollo urbano y planes de ordenamiento territorial, ya que cuenta con información importante respecto a la toma de futuras decisiones, por lo cual esta investigación recomienda a las instituciones público-privadas del municipio utilizar la zonificación de la amenaza como insumo técnico para los estudios de riesgo (desarrollo de estudios futuros de vulnerabilidad y exposición).



Referencias Bibliográficas

- Agencia Federal para el Manejo de Emergencias [FEMA]. (2017). *Floods*. <https://www.ready.gov/floods>
- Alcaldía de Algarrobo. (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT*. Algarrobo - Magdalena.
- Anderson, T. W., & Darling, D. A. (1952). *Asymptotic theory of certain "goodness of fit" criteria based on stochastic processes*. *Annals of Mathematical Statistics*, 23(2), 193–212.
<https://doi.org/10.1214/aoms/1177729392>
- Barragán Giraldo, D. F. (2016). *Revista Colombiana de Educación*. SciELO Colombia.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-39162016000100012&script=sci_arttext
- Cañaveras, E., & Perez, A. (2018). *Análisis de amenaza por inundación y diagnóstico del sistema de drenaje urbano de la cabecera municipal de Clemencia*. Universidad de Cartagena.
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/entities/publication/de565812-aa4d-44d5-ae3b-d5c7e76079e6>
- Calixton, L. (2017). *Determinación de zonas susceptibles de inundación mediante el uso de herramientas SIG en el área de influencia del río Cravo Sur, ubicado en el municipio de Yopal, departamento del Casanare*.
- Clark, R. A. (1987). *Fluvial processes in geomorphology*. Wiley.
- CORNARE. (2012). *Zonificación de riesgo por movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales: Atención de áreas afectadas por eventos desastrosos*.
https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/EL-SANTUARIO/Documento_final_Santuario.pdf
- Corpocesar. (2013). *Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico del Río Cesar: Diagnóstico Final*.
https://corpocesar1-my.sharepoint.com/:w:/r/personal/webmaster_corpocesar_gov_co/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B1DF796E4-3D56-4A64-A60B-



Corpocesar & Ingeominas. (1997). *Estudios de Agua Subterránea del Departamento del Cesar*.

<https://www.corpocesar.gov.co/evaluacion-aguas-subterraneas.html>

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2022). *Censo Nacional de Población y*

Vivienda 2018. [https://www.datos.gov.co/Estadisticas-Nacionales/POBLACION-CENSADA-2018-](https://www.datos.gov.co/Estadisticas-Nacionales/POBLACION-CENSADA-2018-POR-CENTRO-POBLADO-HOGARES-/8dar-v8rj/data?no_mobile=true)

[POR-CENTRO-POBLADO-HOGARES-/8dar-v8rj/data?no_mobile=true](https://www.datos.gov.co/Estadisticas-Nacionales/POBLACION-CENSADA-2018-POR-CENTRO-POBLADO-HOGARES-/8dar-v8rj/data?no_mobile=true)

Díaz, A., & Ibarra, A. (2020). **Estudio de amenaza de inundación del río Culagá, sector puente pr2+500 en la vía Toledo – Labateca, departamento Norte de Santander**. Universidad Católica de Colombia.

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/9f2b263e-353e-4d56-a7c6-73cefbafe8bd/content>

Fernández, R. (n.d.). *Contraste entre la cobertura de la Cumbre de Copenhague y la Cumbre de París en prensa española*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5766690.pdf>

Flórez, A., & Suavita Bejarano, M. (1997). *Génesis y manifestación de las inundaciones en Colombia*. *Cuaderno de Geografía*, 6(1-2)

Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H., Dunson, D. B., Vehtari, A., & Rubin, D. B. (2014). *Bayesian data analysis* (3rd ed.). CRC Press.

Gómez, P., Sánchez, M., & Hernández, L. (2021). *Evaluation of extreme flood events using statistical tests:*

A case study in a Mediterranean watershed. *Journal of Hydrology*, 603, 127160.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127160>

Gumbel, E. J. (1958). *Statistics of extremes*. Columbia University Press.

Guevara, J. M. (2003). *Métodos de estimación de ajustes de datos climáticos*. Universidad Central de



Venezuela.

Gonzales Guzmán, M. I. (2022). Influencia de las competencias digitales en la motivación de los estudiantes de una universidad de Lima, 2021 [Tesis de maestría, Universidad César Vallejo].

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/>

Habegger, S., & Mancilla, I. (2006). *El poder de la cartografía social en las prácticas contrahegemónicas o La cartografía social como estrategia para diagnosticar nuestro territorio*. Buenos Aires: Rizoma.

Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. (2002). *Statistical methods in water resources*. U.S. Geological Survey.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*.

<https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n.pdf>

Horton, R. E. (1945). *The Horton Papers*. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275–370.

Hutchinson, M. F. (2002). *Regularized spline with tension interpolation: theory and application to groundwater levels*. *Géotechnique / Spatial Analysis Journal*.

<https://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/s40064-016-2073-0>

IDEAM (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. Colombia: Bogotá

IDEAM. (2019). *Estudio Nacional del Agua 2018*. https://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge University Press.

Johnson, N. L., Kotz, S., & Balakrishnan, N. (1994). *Continuous univariate distributions: Volume 1 (2nd ed.)*. Wiley.

Kaliraj, S., Shunmugapriya, S., Lakshumanan, C., Suresh, D., Arun Prasad, K., & Srinivas, R. (2024). *Flood risk zone mapping and future projections for the Thamirabarani river basin, Southern India*:



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

Insights from decadal rainfall trends and GIS-based analytical hierarchy process technique.

Natural Hazards. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-07007-z>

Katz, R. W., & Brown, B. G. (1992). *Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages.* *Climatic Change*, 21(3), 289–302.

Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods* (4th ed.). Griffin.

Kolmogorov, A. (1933). *Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione.* *Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari*, 4, 83–91.

Kotz, S., & Nadarajah, S. (2004). *Extreme value distributions: Theory and applications.* Imperial College Press.

Kundzewicz, Z. W., & Schellnhuber, H. J. (2004). *Floods in the IPCC TAR perspective.* *Natural Hazards*, 31(1), 111–128. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000020257.09228.7b>

Leopold, L. B., Wolman, M. G., & Miller, J. P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology.* W. H. Freeman & Company.

Londoño, J. (2021). *Evaluación del riesgo urbano por inundaciones del río Supía.* Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86591?show=full>

López, M., Ramírez, J., & Ortega, C. (2021). Evaluation of extreme flood events using chi-squared and Kolmogorov-Smirnov tests. *Journal of Hydrology*, 590, 125216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125216>

López, M., Ramírez, J., & Ortega, C. (2022). *Statistical methods for flood frequency analysis: A comparison of Kolmogorov-Smirnov and Anderson-Darling tests.* *Water Resources Research*, 58(4), e2021WR029412. <https://doi.org/10.1029/2021WR029412>

Llorente Isidro, M., Díez-Herrero, A., & Laín Huerta, L. (2008). Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones: Avances recientes. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias



- Forestales, (29). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4245445>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259.
<https://doi.org/10.2307/1907187>
- Maidment, D. R. (Ed.). (1993). *Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill.
- Martínez, D., & Castrillón, D. (2014). *Zonificación de amenazas por inundaciones en las zonas urbana y de expansión del municipio de Jamundí (Valle del Cauca)*.
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/ad23e2ec-91d7-43e2-be4d-80ec1afdfef/content>
- Martínez, J., Ruiz, D., & Castro, E. (2023). *Comparative analysis of goodness-of-fit tests for flood frequency analysis in the Aragon River basin*. *Environmental Modelling & Software*, 145, 105303.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105303>
- Milly, P. C. D., Wetherald, R. T., Dunne, K. A., & Delworth, T. L. (2008). *Increasing risk of great floods in a changing climate*. *Nature*, 415(6876), 514–517. <https://doi.org/10.1038/415514a>
- Naciones Unidas. (2020). *Agua y cambio climático: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020*. UNESCO.
<https://www.andi.com.co/Uploads/Agua%20y%20Cambio%20Clim%C3%A1tico.pdf>
- Núñez, L., & Paternina, A. (2022). *Estimación de la amenaza de inundación por desbordamiento de los arroyos Chemerrain y Kutanumaná en el municipio de Uribe – departamento de la Guajira*.
https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/4125/1/LisandroNunezGaleano_2022_EPRAD.pdf
- Organización Meteorológica Mundial [OMM] & UNESCO. (2012). *Glosario hidrológico internacional* (3.ª ed.). https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3558
- Pathak, A. A., Mathad, A. R., & Gagnon, A. S. (2024). *Integration of socioeconomic variables in flood*



damage assessment: A case study of Bengaluru, India. *Natural Hazards*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-07019-9>

Pedraza, A., & Balaguera, J. (2016). *Determinación de la amenaza y vulnerabilidad producida por el fenómeno de inundación en el barrio Olivares, municipio de Soacha, Cundinamarca.*

<https://repository.uqc.edu.co/items/f1e56cef-5a23-4975-8f99-2d772fcdb608>

Pérez, C., & Ramírez, A. (2023). *Application of the Anderson-Darling test for flood risk assessment: A case study of river floods in the Iberian Peninsula. Hydrological Sciences Journal*, 68(2), 249–263.

<https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2106342>

Portillos, O. (2015). *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.*

<https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/783bf10e-4fe3-4fbe-861f-d9debe974be8/content>

Quesada-Román, A., Campos-Durán, M., & Gutiérrez, F. (2024). *Social vulnerability and flood risk in Latin American urban areas: An integrated approach. Natural Hazards*. Advance online publication.

<https://doi.org/10.1007/s11069-024-06686-y>

Rodríguez, E. (2016). *Diseño metodológico para la evaluación del riesgo por inundación a nivel local con información escasa. Universidad Nacional de Colombia.*

Rodríguez, M., & Díaz, M. (2018). *Evaluación del riesgo de inundación en áreas urbanas mediante SIG: El caso de la ciudad de Buenos Aires. Revista de Geografía Norte Grande*, 69, 89–103.

Sevillano, M. (2020). *Zonificación de la amenaza ante inundaciones a partir de un método de evaluación multicriterio en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.*



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7600348.pdf>

Smith, A., & Jones, B. (2004). *Extreme event analysis in civil engineering: Applications of the Gumbel distribution*. Engineering Press.

Suarez, H. (2017). *Cartografía Social*. Fundación Universitaria del Área Andina.

<https://core.ac.uk/download/pdf/326426107.pdf>

UNDRR. (2015). *Desinventar - Sistema de gestión de información sobre desastres gratuito y de código abierto*. <https://www.desinventar.net/>

UNDRR. (2019). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019*. <https://gar.undrr.org/>

UNISDR. (2015). **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030**.

https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf

USACE. (2020). *HEC-RAS River Analysis System – Hydraulic Reference Manual (Version 5.0)*.

<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

Yara, F. (2023). *Determinación de zonas de amenaza por inundación: Estudio hidráulico del río San Eugenio Santa Rosa de Cabal, Risaralda*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86591?show=full>

Lista de Anexos

Anexo 1. Formato de Encuesta y sistematización

Anexo 2. Cartografía Temática

Anexo 3. Memorias de Calculo

Anexo 4. Cartografía Social

Enlace de descargar de anexos:

<https://drive.google.com/file/d/1p9AUxlv2HH7DMXQPqOOkteEp0TSW8hIO/view?usp=sharing>