

# ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO DE LOS ARROYOS CHEMERRAIN Y KUTANUMANÁ EN EL MUNICIPIO DE URIBIA – DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA.

LISANDRO NÚÑEZ GALEANO  
ANGELA PATERNINA TOSCANO

ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y  
ATENCIÓN DE DESASTRES



Universidad<sup>®</sup>  
Católica  
de Manizales

VIGILADA Mineducación

Obra de Iglesia  
de la Congregación



Hermanas de la Caridad  
Dominicas de La Presentación  
de la Santísima Virgen

**ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO DE  
LOS ARROYOS CHEMERRAIN Y KUTANUMANÁ EN EL MUNICIPIO DE URIBIA –  
DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA.**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialización en  
Prevención, Reducción y Atención de Desastres

Asesor

PhD. Juan Camilo Sánchez Gil

Autores:

Lisandro Núñez Galeano

Angela Paternina Toscano

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
MANIZALES

2022

## Tabla de Contenido

<b>Contenido de Tablas .....</b>	<b>7</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Capítulo I.....</b>	<b>10</b>
1.1. Descripción Del Problema.....	10
1.2. Planteamiento Del Problema.....	15
1.3. Justificación.....	15
1.4. Objetivos .....	17
1.4.1. Objetivo General .....	17
1.4.2. Objetivos Específicos.....	17
1.5. Contexto Geográfico .....	18
1.5.1. Extensión Y Altitud .....	18
1.5.2. Localización Del Área de Estudio .....	19
1.5.3. Población .....	20
1.5.4. Economía.....	20
1.5.5. Topografía.....	20
1.5.6. Clima y Temperatura.....	21
<b>Capitulo II.....</b>	<b>23</b>
<b>2. Marco Referencial .....</b>	<b>23</b>
2.1. Antecedentes .....	23
2.2. Marco Normativo .....	35
2.3. Marco Conceptual .....	36
2.4. Marco Teórico .....	38
2.4.1. Modelación hidrológica de eventos extremos .....	38
2.4.2. Lluvia de diseño .....	38
2.4.3. Hidrograma unitario del SCS .....	38
2.4.4. Modelo de tránsito Muskingum .....	40
2.4.5. Método de pérdidas del SCS .....	40
2.4.6. Número de curva.....	41
2.4.7. Caudales máximos.....	42
2.4.8. Modelación hidráulica - HEC RAS (2D) .....	43
<b>Capitulo III.....</b>	<b>48</b>

<b>3. Metodología</b> .....	<b>48</b>
3.1. Fase 1. Análisis hidrológico.....	48
3.2. Fase 2: Análisis hidráulico.....	49
3.3. Fase 3: Estimación de la amenaza .....	49
<b>Capítulo IV</b> .....	<b>50</b>
<b>4. Resultados</b> .....	<b>50</b>
4.1. Modelación hidrológica.....	50
4.1.1. Análisis de la información meteorológica .....	50
4.1.2. Información secundaria.....	51
4.1.3. Análisis exploratorio de los datos de las estaciones .....	53
4.2. Análisis de homogeneidad .....	57
4.2.2. Análisis de frecuencia de lluvias máximas en 24 horas y determinación del aguacero de diseño .....	59
4.2.3. Caracterización morfométrica .....	61
4.2.4. Crecientes de acuerdo con los periodos de retorno.....	63
4.2.5. Crecientes máximas obtenidas para las cuencas .....	72
4.3. Modelación hidráulica.....	78
4.3.1. Modelos bidimensionales.....	78
4.3.2. Software Seleccionado .....	79
4.3.3. Método de los volúmenes finitos.....	80
4.3.4. Ecuaciones de gobierno modulo hidrodinámico.....	81
4.3.5. Implementación del modelo .....	82
4.3.6. Resultados de la modelación .....	84
4.4. Análisis de la amenaza .....	88
4.4.1. Revisión y selección de metodologías para la zonificación de amenaza .....	88
4.4.2. Escogencia de las metodologías .....	89
4.4.3. Análisis de la amenaza por inundación.....	90
4.4.4. Análisis por criterios de niveles de amenaza .....	91
4.4.5. Zonificación de la amenaza de inundación por desbordamiento ...	105
4.4.6. Mapa general de amenazas por inundación .....	110
4.5. Obras de mitigación .....	111
4.6. Análisis de resultados .....	112

<b>5. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>117</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>119</b>

### **Contenido de Figuras**

Figura 1 Porcentaje de vulnerabilidad de inundación a nivel mundial .....	11
Figura 2 Presencia de exposición de población expuesta a inundaciones.....	12
Figura 3 Mapa de Localización del proyecto. ....	19
Figura 4. Localización general del proyecto. ....	19
Figura 5 Tiempo por mes en Uribia, La Guajira.....	21
Figura 6 Lluvia promedio de acumulación de lluvia para los 31 días.....	22
Figura 7 Partes de la malla computacional.....	45
Figura 8 Esquema metodológico. ....	50
Figura 9 Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	53
Figura 10 Estado información estaciones de caudales. ....	54
Figura 11 Precipitación total mensual - Estación Orochon.....	55
Figura 12. Curva de masa de precipitación total mensual - Estación Orochon. .	55
Figura 13. Precipitación total mensual - Estación Tumamana.....	56
Figura 14. Curva de masa de precipitación total mensual - Estación Tumamana. .....	56
Figura 15 Delimitación de las cuencas.....	59
Figura 16. Curva de distribución del aguacero. ....	68
Figura 17 Hidrograma del Arroyo Chemerain Temporalidad 10 años. ....	74
Figura 18 Hidrograma del Arroyo Chemerain Temporalidad 10 años. ....	74
Figura 19 Hidrograma del Arroyo Chemerain Temporalidad 50 años. ....	75
Figura 20 Hidrograma del Arroyo Chemerain Temporalidad 100 años. ....	75
Figura 21 Hidrograma del Arroyo Kutanama Temporalidad 5 años.....	76
Figura 22 Hidrograma del Arroyo Kutanama Temporalidad 10 años.....	76
Figura 23 Hidrograma del Arroyo Kutanama Temporalidad 5 años.....	77
Figura 24 Hidrograma del Arroyo Kutanama Temporalidad 50 años.....	77
Figura 25 Hidrograma del Arroyo Kutanama Temporalidad 100 años.....	78
Figura 26 Modelo de elevación digital .....	83
Figura 27 Profundidad y velocidad máximas del nivel del agua Tr 5 años .....	85
Figura 28 Profundidad y velocidad máximas del nivel del agua Tr 5 años. ....	85

Figura 29 Profundidad y velocidad máxima del nivel del agua Temporalidad 10 años .....	86
Figura 30 Profundidad y velocidad máxima del nivel del agua Tr 25 años.....	86
Figura 31 Profundidad y velocidad máxima del nivel del agua Tr 50 años.....	87
Figura 32 Profundidad y velocidad máxima del nivel del agua Tr 100 años.....	88
Figura 33 Esquema del procedimiento para la zonificación de los niveles de amenazas.....	90
Figura 34. Resultados de modelación Tr 5 años - Profundidad máxima del flujo	91
Figura 35. Resultados de modelación Tr 5 años - Velocidades de flujo .....	92
Figura 36. Resultados de modelación Tr 10 años - Profundidad máxima del flujo .....	94
Figura 37. Resultados de modelación Tr 10 años - Velocidades de flujo .....	95
Figura 38. Resultados de modelación Tr 25 años - Profundidad máxima del flujo .....	97
Figura 39. Resultados de modelación Tr 25 años - Velocidades de flujo .....	98
Figura 40. Resultados de modelación Tr 50 años - Profundidad máxima del flujo .....	99
Figura 41. Resultados de modelación Tr 50 años - Velocidades de flujo .....	100
Figura 42. Resultados de modelación Tr 100 años - Profundidad máxima del flujo .....	102
Figura 43. Resultados de modelación Tr 100 años - Velocidades de flujo .....	103
Figura 44. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento para un Tr 5 años.....	105
Figura 45. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento para un Tr 10 años.....	106
Figura 46. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento para un Tr 25 años.....	107
Figura 47. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento para un Tr 50 años.....	108
Figura 48. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento para un Tr 100 años.....	109
Figura 49. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento.....	110
Figura 50 Estructura sobre el Arroyo de Kutanamana.....	113
Figura 51 Estructura sobre el Arroyo de Kutanamana.....	114
Figura 52. Profundidades para un periodo de retorno de 100 años .....	114

## Contenido de Tablas

Tabla 1 Temperaturas máximas y mínimas mensuales en Uribia. ....	21
Tabla 2 Condición De Solución Para Cada Paso De Tiempo Computacional. ...	46
Tabla 3 Relación entre la velocidad de la onda de inundación y la velocidad media recomendadas por HEC-RAS 6.0.0.....	48
Tabla 4 Estaciones pluviométricas y climatológicas investigadas. ....	51
Tabla 5 Resumen de los resultados del análisis de homogeneidad para cambio en la media, la varianza y la tendencia. ....	58
Tabla 6. Relación de las cuencas delimitadas.....	58
Tabla 7. Precipitaciones máximas en 24 horas con diferentes períodos de retorno.....	61
Tabla 8 Parámetros morfométricos cuencas. ....	62
Tabla 9. Parámetros de forma de las cuencas. ....	63
Tabla 10 Parámetros de identificación del valor de escorrentía. ....	70
Tabla 11. Resultados del modelo hidrológico para las cuencas.....	72
Tabla 12 Hidrograma del Arroyo Chemerain Temporalidad 5 años.....	73
Tabla 13 Parámetros utilizados en la modelación hidráulica.....	84
Tabla 14. Coeficientes de Rugosidad.....	84
Tabla 15. Niveles de amenaza asociadas las variables hidráulicas .....	89
Tabla 16 Medidas de Mitigación ante inundaciones. ....	111

## Introducción

Colombia se encuentra en una zona tropical lo que le genera una alta variedad de hidrosistemas que representan un importante atención y funcionamiento para la función y el flujo de agua, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2021), para lograr una determinación de la demanda por inundación es necesario realizar diversos modelos de evaluación y zonificación hidrológica e hidráulica que permitan determinar el comportamiento de las cuencas frente aspectos de riesgos por medio de la realización de mapas que permiten identificar inundaciones, para la ejecución de estos mapas es necesario tener en cuenta la modelación hidráulica y toda información que se ha presentado en los predios susceptibles de inundación.

Para esta investigación el territorio objeto de estudio es el municipio de Uribia, ubicado en el Departamento de la Guajira, zona que se caracteriza por contar con dos relevantes arroyos Chemerrain y Kutanumaná, los cuales son objeto de interés debido a su probabilidad de desbordamiento y el riesgo que genera este suceso tanto para la población cercana como para la economía del municipio. Considerando entonces que es necesario estimar la amenaza de inundación en la zona por desbordamiento de los arroyos mediante la realización de un mapa de categorización que permita identificar las zonas con mayores riesgos frente a los diferentes peligros que pueden llegar a presentarse y de este modo crear acciones que intervengan en la disminución de la amenaza de inundación por desbordamiento.

El siguiente documento tiene como objetivo general estimar la amenaza de inundación por desbordamientos de los arroyos Chemerrain y Kutanumaná ubicados en

el municipio de Uribia, en el Departamento de la Guajira, todo ello por medio de una metodología de análisis hidrológico que permiten la modelación hidrológica, desde el análisis de la información meteorológica y climatológica.

## 1. Capítulo I.

### 1.1. Descripción Del Problema

Alrededor de todo el mundo se presentan inundaciones y desastres hidrológicos que afectan la economía de los países y generan estragos a nivel social, ecológico y cultural afectando la calidad de vida de la población y en algunas ocasiones generando la muerte de miles de ciudadanos que se encuentran alrededor de cuencas, ríos y arroyos, estos desastres sin duda alguna afectan de manera más determinante en los países bajos, ya que no cuentan con la planificación adecuada y el análisis de prevención de riesgos ejecutados de manera adecuada, al igual que no cuentan con sistemas de drenaje robustos y estables que permitan contrarrestar las inundaciones.

Según Rentschler y Salhab (2020), las inundaciones son consideradas como un peligro común que altera la vida de las personas en todo el mundo; sin embargo, se considera que son los países con niveles bajos de desarrollo los más afectados, considerando también que esta problemática de afectación de la población debido a las inundaciones no solo se debe por aquellas de gran magnitud, sino, por el contrario, aquellos sucesos que se consideran leves o de menor envergadura afectan al desarrollo de los países y aumentan la situación de pobreza de dichos países.

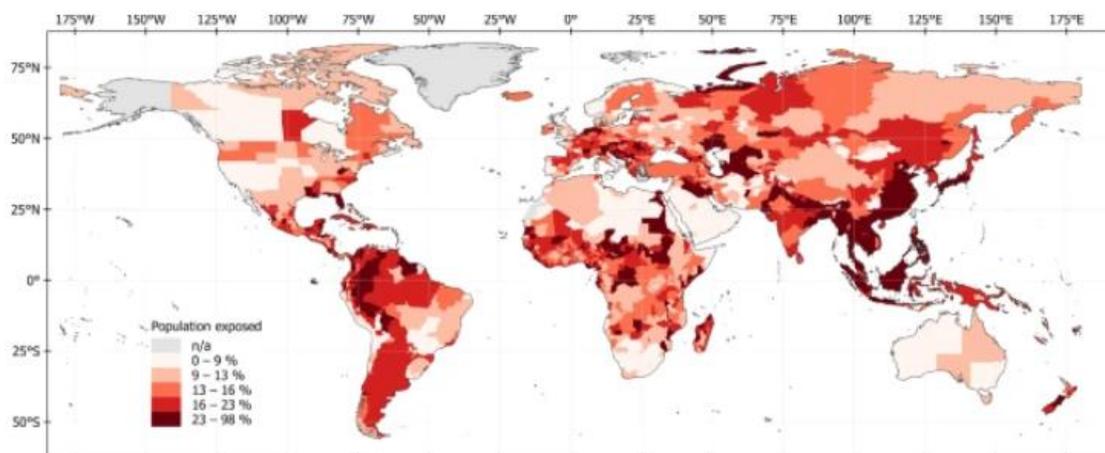
Por otro lado, se reconoce que mediante el apoyo de mapas es posible enfocar información actualizada sobre los posibles riesgos de inundación, estimación y situación de pobreza de las poblaciones, según el Banco Mundial para el año 2020, se presentaba una estimación de más de 1.470 millones de personas que se encuentran en situación de extremo riesgo y presencia de inundaciones severas, por otro lado,

también se estima que se están personas se estima que 600 millones se encuentran en situación de pobreza extrema.

Respecto a la investigación realizada, se presentan dos puntos claves que enmarcan la problemática, los cuales se presentan a continuación, según Rentschler et al., (2022), el mundo cuenta con un aproximado de 1.910 millones de personas, de las cuales el 23% se encuentran en un peligro inminente frente a situaciones de inundación, por otro lado, se establece que el 12% del Producto Interno Bruto, se encuentra presente en estas zonas que se consideran vulnerables y con mayor exposición a inundaciones.

En la siguiente Figura se presenta el porcentaje de población que se encuentra en situación vulnerable a inundaciones a nivel mundial

**Figura 1 Porcentaje de vulnerabilidad de inundación a nivel mundial**



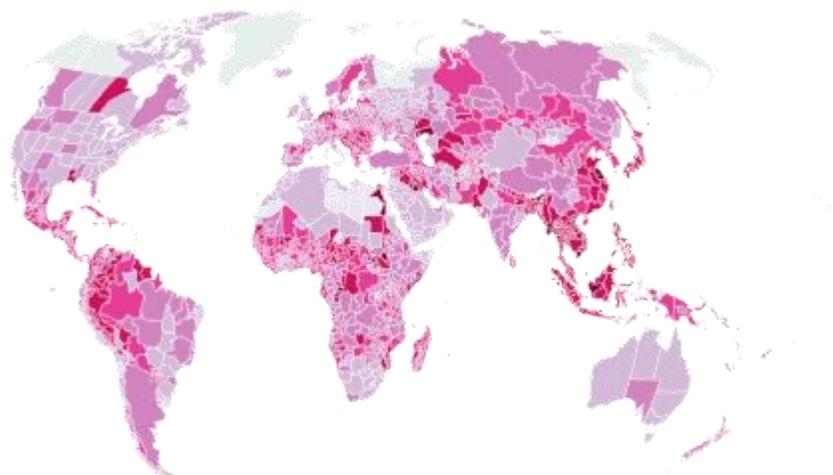
*Nota.* tomado de Rentschler et al., (2022), evidenciando que alrededor del mundo se encuentra en un crecimiento de exposición a inundaciones sobre todo en el sur y este del continente asiático especialmente en país como la India y China.

Por otro lado, Rentschler et al., (2022), también establece que la población expuesta al riesgo de inundaciones, dependiendo la gravedad del riesgo, en este caso,

el riesgo muy alto corresponde a inundaciones de más de 1,5 metros de altura, el riesgo alto > 0,5 m; riesgo moderado > 0,15 m; riesgo bajo > 0 m. considerando que el riesgo examinado en 189 países es proporcionalmente más amplio para 1370 millones de personas, centradas en China y la India, regiones que se caracterizan por la gran cantidad de población y por la gran cantidad de zonas costeras y llanuras bajas fluviales.

En la siguiente figura se presentan la representación gráfica de personas expuestas en todos los países a nivel mundial.

**Figura 2 Presencia de exposición de población expuesta a inundaciones.**



*Nota.* tomado de Rentschler et al., (2022), en donde se evidencia mayor presencia a los países que cuentan con mayor exposición a inundaciones.

Por otro lado, se establece que tanto la población de la India Oriental como meridional son quienes han sufrido un mayor impacto negativo, considerando que las inundaciones son sin duda alguna un riesgo universal.

Ya pasando a un contexto colombiano cabe identificar qué Colombia ha vivido períodos de sequía y precipitaciones debido a la variación climática, Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística.(DANE, IGAC - IDEAM - 2011), por causa del

enfriamiento de las aguas del océano Pacífico y la costa sur colombiana, generando cambios en el comportamiento de los vientos, los cuales han generado un comportamiento diferente en los vientos lo que produce precipitaciones intensas, por lo anterior se considera que el país ha sufrido afectaciones que conllevan a inundaciones, debido a estos eventos invernales más de 28 departamentos han sufrido damnificaciones a la población.

Para el año 2011, se presentó un periodo de afectaciones climáticas llamado el fenómeno de la niña, el cual traería consigo inundaciones y desastres sociales, causando pérdidas de predios y destrucción de vías primarias y centros de salud, demostrando con ello la importancia de crear acciones en las que se mejore la gestión del riesgo para prevenir situaciones de amenaza climática y priorizar la calidad de vida de los habitantes de cada uno de los municipios.

El municipio de Uribia, ubicado en el departamento de la Guajira, se ha visto afectado por los diferentes eventos climáticos que han ocasionado a lo largo y ancho del municipio grandes inundaciones y sequías, trayendo consigo pérdidas económicas y afectando la actividad de la población, ya que debido a estas inundaciones se presentan pérdidas en los sectores productivos y agrícolas que son la actividad principal de este municipio. Por otro lado, también se considera importante mencionar las afectaciones de salubridad y Seguridad Social que han vivido los habitantes de esta zona debido a las inundaciones dentro del casco urbano, tema principal de esta investigación, ya que es en el casco urbano donde se encuentran los arroyos Kutanamaná y Chemerrain los cuales nacen de manera paralela a las lomas de Jojoncito y Huanurupaha a unos 15 km al oeste de Uribia.

Viéndose afectado de manera determinante las calles del municipio de Uribia debido a que en época de invierno los arroyos aumentan su caudal y tienden a concentrarse en estas calle, trayendo como consecuencia afectaciones en las viviendas, las cuales están construidas con estructuras y materiales que no son aptos para salvaguardar el peligro de una inundación, en este punto cabe destacar que la población del municipio es principalmente indígena

específicamente de la cultura wayuu por tal motivo sus construcciones son a base de barro y bareque en su gran mayoría, causando esto una mayor vulneración ante la amenaza de una inundación.

Según la Cruz Roja Seccional Guajira (2010), en su reporte presentado para el año 2010, la ola invernal de la época traería consigo la destrucción de más de 325 viviendas, al igual que afectaría vías de acceso no solo para el municipio de Uribia sino para los diferentes corregimientos aledaños. Por otro lado, cabe resaltar que otro de los factores que permiten que se generen inundaciones en el municipio de Uribia son la relación climática, la erosión y sedimentación del suelo, al igual que la acumulación de basuras alrededor del Arroyo y la ocupación que se presenta dentro de la zona hídrica de los dos arroyos aquí analizando.

Al igual que se relaciona los factores del calentamiento global y los fenómenos presentes dentro de los años 2010 y 2012 como lo fueron el fenómeno de la niña y el niño, los cuales generaron temporadas de invierno y graves inundaciones al igual que sequías, obligando a entidades estatales a crear estrategias para formular y desarrollar programas basados en proyectos en los que se intensificará el manejo de los cambios climáticos y las temporadas invernales y de sequía extrema, esperando que con ello se minimizarán los impactos generados tanto en la población, como en la economía y en los sistemas de producción los cuales se encargan de abastecer el consumo humano, considerando entonces que la agricultura es una de las actividades que abastecen las necesidades propias de la población y debido a las inundaciones se presenta déficit en las cuencas hídricas del municipio.

Basados en lo anterior, es necesario que se generen acciones en las que se realicen análisis que permitan estar informados sobre los posibles cambios climáticos y con base en esta información hidrometeorológica e hidrológica, para con ellos emprender ajustes administrativos con respecto al recurso hídrico, al igual que crear acciones en las que se prepare a la población frente a la eventualidad de desastre por inundación, teniendo como base eventos pasados como los ocurridos en los años 2009-2010.

## 1.2. Planteamiento Del Problema

De acuerdo con lo anterior, con el desarrollo del presente trabajo final, se busca dar respuesta a los siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es el nivel de amenaza de inundación por desbordamiento de los arroyos circundantes del municipio de Uribia, departamento de La Guajira?
- ¿Cuál es el origen de los problemas de inundación por desbordamiento en el municipio Uribia, departamento de La Guajira?

## 1.3. Justificación

Colombia se caracteriza por dividir su año en cuatro temporadas, dos de lluvia y dos de sequía intensa, lo que permite que debido a esta variación se presenten eventos extremos, como lo son el Fenómeno de la niña (ocasionadas por el enfriamiento del océano Pacífico tropical) y el fenómeno del Niño (ocasionado por precipitaciones mayores en el país), el cual se considera como uno de los problemas más grandes a los que se enfrenta Colombia, debido principalmente a que este fenómeno presenta situaciones de inundación extrema por desbordamiento, cabe resaltar que estos desbordamientos se deben a situaciones de anomalía por causas naturales. (Hurtado & Euscátegui, 2011).

Adicional a estas anomalías naturales que generan inundaciones, se consideran que otro factor determinante, es la falta de planeación por parte de las entidades gubernamentales, quienes aún no priorizan dentro de sus Planes de Desarrollo la implementación de acciones e instrumentos en los que se planifique las situaciones de riesgo, tampoco se cuentan con estrategias en las que se realicen acciones en las que

se canalicen los cuerpos de agua, o se consideren la capacidad hidráulica de las alcantarillas, o realizar acciones en las que sea posible mejorar los procesos morfológicos de los cauces (Salas, 2014).

Por otro lado, se considera como otro factor determinante, la poca información con la que Colombia cuenta, con respecto a datos actualizados sobre hidrometeorológica, lo que genera una mala interpretación de los datos, generando mayor incertidumbre sobre los posibles estudios hidrológicos que se realicen, aumentando los costos, según Vélez (1997), presentarse diseños hidráulicos que se alejen de la realidad exacta debido a la falta de información se sobrestiman los caudales máximos, generando parámetros asumidos con errores en periodos de retorno inciertos.

Permitiendo entonces resaltar que esta investigación, logra identificar que el uso de mapas de zonificación de amenaza es una herramienta que puede minimizar la situación de estimación del riesgo para posible inundación dentro del municipio de Uribe, permitiendo que con este nuevo proceso y acceso exacto e idóneo de la situación de riesgo sean diseñadas obras de intervención enfocada en cada uno de los arroyos que enmarcan el casco urbano, disminuyendo de este modo cualquier presencia de peligro. Así mismo, se considera que estos mapas de amenaza permiten un replanteamiento del uso y ocupación del territorio lo cual permite también que se actualicen los instrumentos de planeación territorial que se requieran para mejorar la calidad del territorio y contrarrestar inundaciones que se generen por los cambios climáticos y la presencia de Fenómenos como lo es el del Niño y la Niña.

En cuanto al municipio de Uribia, se considera que esta investigación permite que para la población ubicada en los barrios San José y Esfuerzo Wayú, el cual está limitado con uno de los arroyos que más han presentado eventos de desborde, este arroyo se llama Chemerrain, el cual cuenta con una longitud aproximada de Diez (10) metros de ancho y una profundidad y almacenamiento baja con tendencia a la disminución debido a la sedimentación que recibe por la cuenca degradada. En cuanto al el arroyo Kutanamaná este en la actualidad también era considerado como uno de los arroyos con mayores situaciones de inundación, sin embargo, se realizaron obras se desvió del caudal, dirigiéndole él cause tanto en aguas en la parte superior como aguas en la parte inferior.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo General**

Estimar la amenaza de inundación por desbordamiento de los arroyos Chemerrain y Kutanumaná en el municipio de Uribia – Departamento de La Guajira.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

1. Evaluar el comportamiento hidrológico de los arroyos Chemerrain y Kutanumaná en el municipio Uribia.
2. Analizar la capacidad hidráulica de los arroyos Chemerrain y Kutanumaná en el municipio.
3. Proponer medidas de mitigación para disminuir la amenaza de inundación por desbordamiento de los arroyos Chemerrain y Kutanumaná.

## **1.5. Contexto Geográfico**

A continuación, se presentan los aspectos fisiográficos y geográficos del municipio de Uribia al igual que se identifican la información general con respecto a la localización, demografía y economía del municipio.

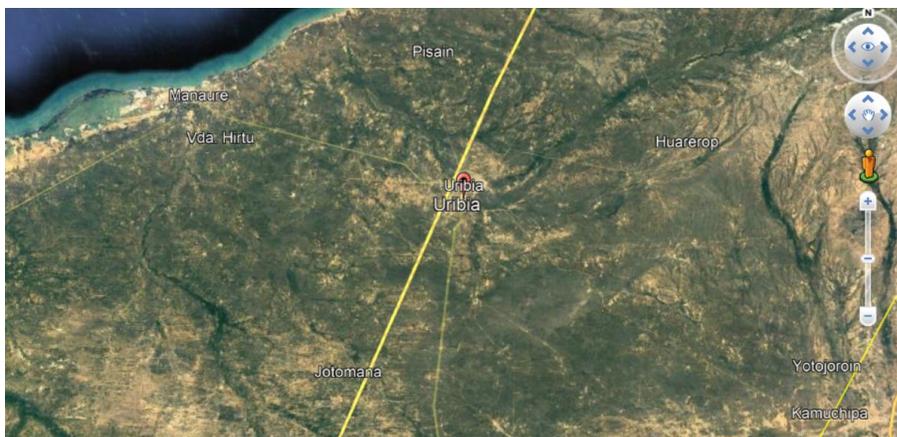
Según la alcaldía de Uribia el municipio se encuentra ubicado al norte del departamento de la Guajira, dentro de su población se encuentra un resguardo indígena perteneciente al pueblo Wayúu, también se encuentra la alta y media Guajira en donde se ubican diferentes resguardos indígenas que se extienden hacia la zona rural. En cuanto a su posición marítima y fronteriza, el municipio se encuentra ubicado en la alta y media Guajira ocupando más de la tercera parte del departamento de la Guajira, comunicándose con el municipio de Manaure, Maicao, Río Hacha, Puerto Bolívar, Cabo de la Vela, Puerto López y Nazareth.

Por otro lado, se establece que dentro de las principales características de la Guajira es el mal estado de sus carreteras, lo que genera accidentes notables orográficos destacados en las serranías del Macuira Jara y Carpintero (Alcaldía de Uribia - La Guajira, s.f.).

### **1.5.1. Extensión Y Altitud**

En cuanto a su extensión y altitud el municipio de Uribia presenta una extensión total de 8200 km<sup>2</sup>, perteneciendo a la zona urbana 6 km<sup>2</sup> y el restante a la zona rural un total de 8190 km<sup>2</sup>. cabe resaltar que se encuentra sobre el nivel del mar a 26 metros, la distancia entre la ciudad capital Riohacha es de 92 km.





*Nota.* Imagen adaptada de Google Earth (Google, 2022).

### **1.5.3. Población**

Al año 2017 el municipio de Uribia contaba con 160,711 habitantes, de los cuales 13,389 ocupan el casco urbano. La densidad poblacional del municipio es de 3.8 hab/vivienda. (Alcaldía de Uribia - La Guajira, s.f.)

### **1.5.4. Economía**

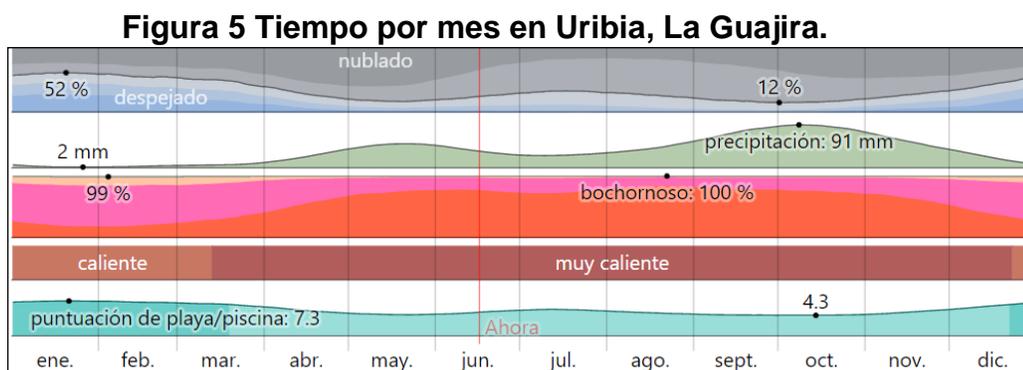
Principalmente su economía se basa en la ganadería caprina, por otro lado, el comercio y el turismo es una de las actividades económicas principales del municipio, gracias a los recursos naturales con los que cuenta el municipio se logra realizar actividad de explotación de carbón y gas natural, los cuales son transportados por embarques de carbón producido en el cerrejón en puerto Bolívar.

### **1.5.5. Topografía**

Según datos recolectados por el sitio Weather Spark, desde el 1 de enero de 1980 hasta el 31 de diciembre de 2016, Uribia en un radio de 3 kilómetros cuenta con variaciones modestas de altitud, pues tiene un cambio máximo de 31 metros de altitud y una altitud promedio de 26 metros (Weather Spark, 2016).

### 1.5.6. Clima y Temperatura

Así mismo, según Weather Spark, Uribia cuenta con veranos cálidos y nublados, inviernos cortos y calurosos, secos y parcialmente nublados. Cuenta con altos vientos a lo largo del año y su temperatura vería de 24°C a 31°C (Weather Spark, 2016). En la siguiente figura se puede observar las variaciones de tiempo durante el año en el municipio.



*Nota.* Tomado de Fuente: (Weather Spark, 2016).

En la siguiente Tabla se presentan las temperaturas máximas, promedio y mínimas de enero a diciembre.

**Tabla 1 Temperaturas máximas y mínimas mensuales en Uribia.**

Promedio	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Máxima	29 °C	29 °C	30 °C	31 °C	31 °C	31 °C	30 °C	30 °C				
Temp.	26 °C	26 °C	27 °C	27 °C	28 °C	27 °C						
Mínima	24 °C	24 °C	24 °C	25 °C	26 °C	25 °C	25 °C	25 °C				

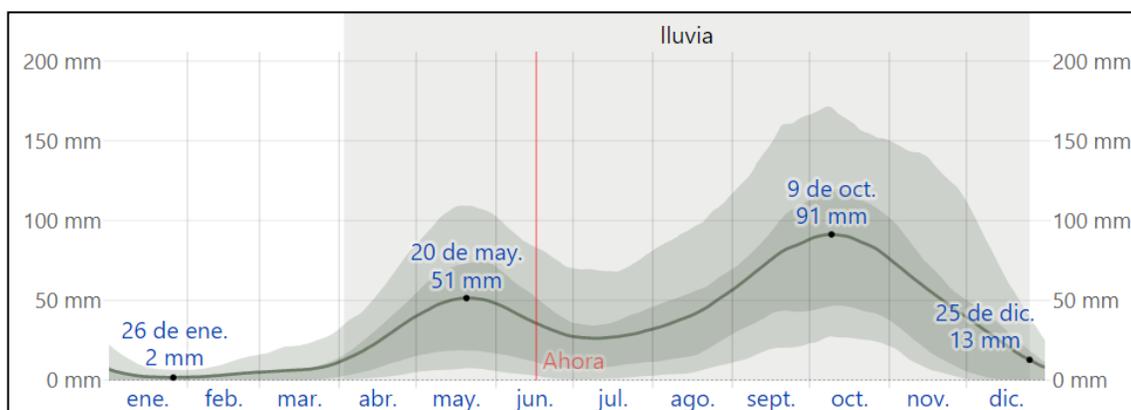
*Nota.* Tomado de Fuente: (Weather Spark, 2016).

Weather Spark menciona que la variación y precipitación de la lluvia está acumulada dentro de un periodo de 31 días, presentes en una escala móvil que es

central alrededor de cada día del año, considerando que Colombia presenta una variación extrema de lluvia mensualmente, con un promedio de 145 mm de lluvia.

En cuanto Al municipio de Uribia se logra analizar que a partir de abril hasta mediados de diciembre se presenta un intervalo móvil no menor a 13 mm. más una precipitación para el mes de octubre con un promedio de 90 mm, ya para el mes de enero se presenta una menor situación de lluvia destaca en una precipitación de 2 mm. a continuación se presenta manera gráfica la acumulación de lluvia promedio para los 31 días durante el año según lo establecido por (Weather Spark, 2016).

**Figura 6 Lluvia promedio de acumulación de lluvia para los 31 días.**



*Nota.* Tomado de Fuente: (Weather Spark, 2016).

## Capítulo II

### 2. Marco Referencial

#### 2.1. Antecedentes

Los antecedentes citados y revisados para este proyecto de investigación han sido indagados en plataformas de grado escolar y científico que suministran información de alta calidad para este tipo de proyectos.

El modelo de consulta implementado se basó inicialmente en la búsqueda de trabajos de investigación referentes a la elaboración de mapas de amenazas por inundación en diferentes contextos y lugares a nivel nacional, en donde se aplicará principalmente la metodología señalada en este caso de estudio, la cual es, la guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación del IDEAM. Estos proyectos de investigación principalmente se tratan trabajos de grado para aspirar a títulos de especialistas y magísteres.

Como segunda opción de búsqueda, se indagó acerca de proyectos de investigación referentes a la elaboración de mapas de amenazas por inundación en diferentes contextos y lugares, pero esta vez a nivel nacional e internacional, en donde se aplicarán otro tipo de metodologías vigentes y debidamente sustentadas. En este contexto de búsqueda se obtuvieron también trabajos de grado de aspirantes a especialistas, magísteres, pero agregando trabajos de grado de aspirantes a doctorado. De otra parte, se obtuvieron artículos indexados de revistas de investigación, principalmente de Colombia y Latinoamérica.

En este orden de ideas, a continuación, se relacionan los antecedentes consultados en el contexto del tema de investigación, y se presentan los objetivos, logros y conclusiones de cada uno de ellos:

Los autores, Bolivar et al., (2019), presentan un estudio basado en tres análisis fundamentales, en donde evalúan la variabilidad de las precipitaciones bajo la aplicación de escenarios de cambio climático en el periodo 2011-2100 con el propósito de identificar las variaciones de caudal que pueda generar fenómenos de inundación en la microcuenca Quebrada Resaca. Conocido lo anterior, contando con el mapa de amenaza que indica las manchas de inundación (profundidad y velocidad) proyectadas, se implementa el desarrollo de un modelo de calidad de agua en el software Iber, el cual permite verificar la variación en la concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua en cada sección del tramo de la microcuenca, es necesario resaltar que la elaboración de los respectivos mapas de inundación, al igual, que el presente trabajo investigativo se realizó teniendo en cuenta la guía metodológica para elaborar mapas de inundación publicada por el IDEAM, pero implementando un software diferente. Como tercer gran objetivo, se establecen las posibles medidas correctivas y prospectivas para la reducción y mitigación del riesgo.

Del estudio realizado se resaltan las siguientes conclusiones: el realizar un modelo hidrodinámico que permita la participación de la microcuenca se consideró como una herramienta determinante para identificar cuáles eran las áreas potenciales frente a una situación de inundación, al igual que permitía evaluar la situación de amenaza y la posible vulnerabilidad al riesgo en la que se encontraba expuesta la comunidad que se encuentra aledaña a la microcuenca.

Por otro lado, se logra concluir que para lograr una calibración del modelo hidrodinámico es necesario aplicar metodologías de prueba y error las cuales permiten identificar el coeficiente de eficiencia más adecuado como lo establece Nash Sutcliff (NSE) de 0,995, indicando con este coeficiente cuál debe ser el ajuste necesario entre los datos que permita inferir entre el grado de confianza del modelo obtenido en Iber2D, al igual que se logra concluir que la condición de Courant, Friedrich y Lewy al arrojar un valor de 0.8 garantiza un esquema estable bajo un nivel de significancia de alta precisión dentro de los valores procesados.

Dentro de la investigación también se identifica un modelo hidrodinámico que puede ser implementado dentro de un escenario 2041-2060, considerando este escenario como crítico y con mayor afectación y posibilidad a un fenómeno de inundación y de mayor extensión dentro de la microcuenca Resaca-palestina. Este modelo de Software Iber se consideró como una de las herramientas más importantes que permiten suministrar y evaluar los resultados de manera precisa para lograr determinar cuál es la composición y la calidad del agua con base en la vulneración que se presenta con el ambiente.

Con respecto a la evaluación de la vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo, se presentaron diversos mapas de riesgos los cuales permitieron identificar que el 40% de las viviendas del área están dentro de una influencia de alto riesgo, el 45% presentan una influencia de riesgo medio y el 15 por 101 influencia de riesgo bajo. permitiendo con ello que la aplicación de un modelo hidrodinámico permita mejorar la calidad del agua y sirve como una herramienta funcional para la realización y mejoramiento del

ordenamiento territorial y la toma de decisiones, basados en herramientas de ingeniería y evaluación de amenaza, riesgo y vulnerabilidad.

Cartaya & Mantuano (2016), presenta una investigación que tiene como objetivo identificar las manchas de inundación presentadas en la Cuenca baja del río pescadillo ubicado en el Ecuador, mediante la simulación en el programa HEC-RAS de crecidas anuales. Esta cuenta se encuentra ubicada dentro de una matriz agrícola homogénea, extrayendo los datos geométricos obtenidos de un modelo de elevación digital (DEM/SRTM), teniendo como base afectada 18.72 km<sup>2</sup>. para la simulación de las manchas de inundaciones anuales, se recolectó información que determinaba la ubicación de las zonas caracterizadas por desbordamiento y por ser posiblemente terrenos agrícolas que se encuentran en riesgo.

El estudio se centró en el río Manabí y se realizó mediante el software HEC RAS, obteniendo como resultado la ubicación de las manchas de inundación de manera precisa pese a los pocos datos hidrológicos con los que se contaban, adicional a eso también se hizo uso de la extensión HEX-GeoRAS, la cual se considera una herramienta determinante para lograr una automatización del proceso de extracción de datos geométricos, facilitando así los cálculos hidráulicos para la realización de los mapas temáticos y la identificación de las zonas vulnerables que se encuentran en riesgo por inundación.

Rodriguez et al., (2007), presentan un artículo que tiene como objetivo principal realizar una propuesta que permita la generación de mapas de inundaciones, caracterizando y clasificando las zonas de amenaza a la cuenca del río Las Ceibas en una aproximación de áreas con aproximación de 297 Km<sup>2</sup>, haciendo uso de las

herramientas digitales de modelación hidrológica como HEC- GeoHMS y HEC-HMS, estas herramientas de modelación permitieron dar como resultado, que al realizarse el uso adecuado y sistemático de las herramientas de información geográfica aplicando modelos hidrológicos e hidráulicos de manera correcta y calibrada, permitirá otorgar la información suficiente para implementar medidas que permitan reducir el impacto frente a los eventos de inundación, que generan torrenciales catástrofes sobre la población.

Hernández & Vieryra (2010), realizar un estudio en la ciudad de Morelia, el cual tiene como objetivo determinar cuáles son las zonas de inundación naturales y originales, mediante el uso de parámetros de precipitación y parámetros morfo métricos, estableciendo con este estudio que la zona urbana se encuentra en precariedad y que es necesario la implementación de métodos de análisis basados en el multi criterio, los cuales permiten dividir el contorno urbano el cual se caracteriza por contar con diferentes áreas de análisis. Por otro lado, los autores realizan una correlación de los sueños de inundación con la precariedad que permite establecer las zonas de riesgos e inundaciones.

El estudio se realiza mediante el software HEC RAS al igual que se realizan análisis de factores sociales y del suelo, permitiendo con ello un análisis de resultado integral del comportamiento de las inundaciones, el trabajo presenta como resultado que la zona presenta un incremento de asentamientos periféricos con riesgo de inundación se encuentran centrados en la población con mayor vulneración económica, en donde sus viviendas son construidas con materiales inadecuados, carentes y precarios, ubicadas en zonas irregulares con tenencia del suelo lo que aumenta la posibilidad de riesgo. Por otro lado, se logra identificar que dentro de los registros de

precipitación se presenta una linealidad en la serie de tiempo estudiado, lo cual permite identificar un elemento fundamental en la formación de las inundaciones, considerándose este como la causa principal del desastre.

Concluyendo así que los factores que incrementan la presencia y formación de un riesgo son el crecimiento desproporcionado, el área urbana, las condiciones de precariedad de la población, lo que genera una construcción en suelo no apto Y con elementos precarios, afianzando con esto la posibilidad y la presencia del riesgo llegando al punto de afectaciones trascendentales para la población.

Por otro lado, Barrantes y Vargas (2011), presentan una metodología en la que se desarrolla la identificación del nivel de amenaza establecería mediante la zonificación de áreas inundables el Valle del río Sixaola, identificando los diferentes niveles de peligrosidad que pueden llegar a generarse dentro de las unidades geomorfológicas que conforman la llanura aluvial, por medio de la función estadística de frecuencia relativa la cual permite identificar la velocidad del flujo de agua clasificar los levantamientos de acuerdo a las unidades geomorfológicas que se encuentran dentro de la llanura, mediante la fotointerpretación, el trabajo de campo, el análisis de experiencias vividas y la consolidación histórica sobre los niveles de inundación que se habían presentado dentro del área de estudio, esperando con ello establecer cuáles son los periodos de retorno de las inundaciones máximas.

Cómo se logra evidenciar esta investigación a diferencia de las anteriores, dentro de su metodología no aplica herramientas tecnológicas para realizar la estimación, sino que se basa en el uso de datos históricos y trabajo de campo, lo cual

les permite a partir de ello estiman los periodos de retorno que se han presentado hasta la fecha.

La investigación permite concluir, que la zona de investigación en este caso la llanura aluvial del río Sixalóa, es considerada como una zona de alto riesgo ya que provoca daños e inundaciones de manera recurrente afectando la infraestructura y la actividad económica del sector, desde el año 2000 al 2007 se han presentado 5 inundaciones dentro de la zonificación, siendo necesaria la planificación de estrategias que permitan una identificación de las unidades geomorfológicas propias para este modo disminuir la amenaza por inundación, previniendo la zona mediante la gestión de riesgo.

Rodríguez (2020), presenta una investigación con el fin de zonificar la amenaza por inundación la ciudad de Santiago de Cali en Colombia, investigación que realiza por medio de la evaluación multicriterio, en donde integra siete diferentes variables de análisis en las que evalúan desde el análisis de la combinación lineal y mediante la ponderación de información suministrado por el sistema geográfico. se logró evidenciar que frente a la amenaza de clasificación alta se representa un 6% de vulnerabilidad y de superficie inundable, para la amenaza de clasificación media se presenta un 22% de la superficie y un 72% enfocado hacia la amenaza con clasificación alta. estas áreas de vulnerabilidad están ubicadas específicamente en 37 barrios ubicados en la zona oriental de la ciudad de Santiago de Cali, siendo esta una de las zonas con mayor repercusión debido a la acumulación de flujo, al igual que se caracteriza por ser una zona con inclinación de la pendiente y es cercana a canales y fuentes hídricas. concluyendo este modo que gracias a la metodología de evaluación

multicriterio aplicada dentro de esta investigación se logra identificar la zonificación de la amenaza y acercarse más hacia el riesgo o desastre que puede estar próximo a proceder, pero entiendo así que las entidades gubernamentales implementen acciones por medio del instrumento del ordenamiento territorial.

Siguiendo con las investigaciones realizadas en Colombia, los autores Rodríguez & Calixto (2018), realizar un estudio en el cual esperan identificar la delimitación y la zonificación en áreas en amenaza, caracterizadas por ser escenarios de condición de riesgo de inundación, presentes dentro de una escala de 1:25000 para la zona rural, y para la zona urbana 1:5000 del Municipio de Monquirá ubicado en el departamento de Boyacá, esta investigación tiene como finalidad recolectar la información documental técnica suficiente para lograr una toma de decisiones adecuadas basadas en el conocimiento que permitan mitigar y crear acciones correctivas, en donde tanto la población como las entidades gubernamentales puedan actuar oportunamente en el momento en el que se presente una amenaza, priorizando la vida del ser humano y la infraestructura pública. Por otro lado, con esta investigación se logra presentar un proyecto de grado el cual permite por medio de la investigación académica diseñar diferentes guías y metodologías que pueden ser aplicación por parte de las instituciones y los entes gubernamentales encargados de la identificación y estado del clima como lo son las Instituciones y entes gubernamentales de reconocida gestión técnica y tecnológica nacional y mundial (IDEAM).

Concluyendo por medio de esta investigación, que la elaboración de un mapa de delimitación y zonificación de amenazas permite que se creen escenarios en condición

de riesgo por inundación y se logre formular medidas de mitigación para este modo estructurar acciones que benefician a la comunidad en general.

Sedano Cruz (2012), realizó una investigación en donde propone la implementación de la gestión integral del riesgo por inundaciones en el municipio de la Victoria, ubicado en el departamento del Valle del Cauca, por medio de esta investigación los autores logran identificar como el municipio requiere de un apoyo en la participación de la comunidad, para que mediante este se logró un fortalecimiento institucional y se permita desarrollar desde la parte colaborativa una toma de decisiones adecuadas que permitan que el territorio sea sostenible en el tiempo. Esta investigación tiene como finalidad la realización de un plan de emergencias que está asociada a un sistema de alerta que permita la identificación temprana con base en el pronóstico de cualquier evento generado por un cambio climatológico o lluvia.

Al igual que se desarrolló una propuesta para la implementación de la Gestión Integral del Riesgo por inundaciones en el municipio de La Victoria en el departamento del Valle del Cauca. Encontrando que el municipio debe apoyarse en la participación de la comunidad, también debe existir un fortalecimiento institucional y un proceso colaborativo de toma en las decisiones que desarrolla planes de acción basados en las necesidades de todos los involucrados y que sean sostenible en el tiempo. Lo bueno del municipio es que cuenta con un plan de emergencias asociado al Sistema de Alerta Temprana y Pronóstico para la respuesta ante un evento de lluvias.

Por otro lado, Palma (2015), realiza una investigación en donde por medio de la metodología logra identificar diferentes niveles de alerta en el momento en el que se pueda presentar una inundación, enfocándose en los municipios ribereños al río

Magdalena, para esta investigación el autor decide aplicar dos criterios considerados como riesgos hidrológicos los cuáles se basan en el desbordamiento del río y el riesgo hidráulico que se puede llegar a generar debido a fallas en obras hídricas que se realicen con diques longitudinales. Esta metodología permitiría hallar los diferentes niveles máximos que estaría excediendo las 9 estaciones hidráulicas que estaban ubicadas dentro de la zona de estudio, por tal motivo el autor consideró determinante el análisis de antecedentes históricos frente a las inundaciones de los 32 municipios ribereños al río Magdalena, los cuales han sufrido de fenómenos de lluvias y desastres climatológicos, permitiendo con ello que a partir de estos reportes se logre identificar cuáles son los niveles del río y el grado de vulnerabilidad que presenta cada UNO de los municipios y en este modo lograr una actuación temprana y de alerta frente a la posible situación de desbordamiento del río Magdalena.

Los autores Ruiz y Hernández (2021), balizaron un estudio de modelación hidráulica, el cual permitió la determinación de diferentes zonas susceptibles a la inundación en el municipio de Montería ubicado en el departamento de Córdoba, teniendo en cuenta como principio los periodos de retorno de las zonas susceptibles ante eventos extremos de lluvias. permitiendo observar con esta investigación que el aumento de los niveles y velocidad del río se deben a un desbordamiento de ambas márgenes del municipio de montería, al igual que identificar que la margen más susceptible a inundaciones se encuentran al lado izquierdo del río sinú las cuales afectan de manera directa los territorios en donde la población realiza sus actividades de Agricultura. al igual que el estudio permite identificar cuales son los barrios con mayor impacto ante este efecto, permitiendo con ello que se creen estrategias para

mitigar el impacto generado por estos eventos adversos y lograr que sean implementadas en los Plande de Ordenamiento Territorial.

Rojas & Jiménez (2021) estudiaron las cuencas de la quebrada Negra y el río Negro con el fin de predecir las zonas de inundación en el área urbana del municipio Utica en el departamento de Cundinamarca. Encontrando que las zonas de inundación son causadas por el desbordadamente del río Negro, teniendo en cuenta que el municipio está ubicado en su llanura de inundación. La quebrada Negra como tal no presenta anegamiento hacia el casco urbano del municipio. Según el estudio deduce que estos fenómenos se presentan debido a la deforestación, por las actividades antrópicas en la cuenca, el cambio de cobertura vegetal, entre otros y son los detonantes en el aumento de los niveles de los cuerpos de agua. Adicionalmente, obtuvieron las zonas anegadas del municipio están categorizados con una amenaza de inundación latente para los 13 barrios que la conforman.

Lo s autores Rivera et al., (2002) evaluaron la amenaza y vulnerabilidad en el municipio del Valle de Ángeles en Honduras en la quebrada La Soledad. Esta quebrada posee altas velocidades con procesos erosivos en el municipio. La evaluación de la vulnerabilidad se desarrolló con visitas de campo en la zona de estudio y recopilación de la información, encontrando una vulnerabilidad alta ante eventos de inundación. La categorización de la amenaza de inundación para la quebrada se realizó partir de la modelación hidrológica, hidráulica y con el sistema de información geográfica, lo cual se constituyó como una herramienta a tener en cuenta en la planificación y control, de las obras que deben ser implementadas en estas áreas anegadas y de ser conveniente diseñar e implementar un sistema de alerta temprana.

Arias y Correa ( 2020), realizaron la zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento del río Magdalena en el municipio de Beltrán del departamento de Cundinamarca, a partir de modelaciones hidrológicas e hidráulicas. La categorización de la amenaza resulta del cruce de los parámetros hidráulicos de las profundidades y velocidades del flujo. Encontrando que el municipio de Beltrán se encuentra expuesto en un 30.11% bajo amenaza de inundación por desbordamiento y el resto del municipio no tiene amenaza. De este porcentaje el 22.11% está en amenaza alta, el 3.97% en media y 4.03 en baja. La amenaza de inundación por desbordamiento no afecta a las viviendas, toda vez que se presenta la anegación en las zonas de ronda hídrica.

Sevillano (2020), realizaron la evaluación de la amenaza de inundación por desbordamiento del río Jamundí y sus afluentes en el casco urbano del municipio del mismo nombre en el departamento del Valle del Cauca. La metodología aplicada fue desarrollada con un modelo hidrodinámico en dos dimensiones llamado FLO-2D y para categorizar la amenaza utilizaron las variables hidráulicas de profundidad y velocidad de flujo. Encontraron que el municipio está expuesto en un 26.5% del área total en amenaza de inundación. De este porcentaje el 6.69% está en amenaza alta, el 10.45% en media y 9.36 en baja. El estudio determinó los barrios afectados de cada categorización de amenaza de inundación en el casco urbano y de expansión del municipio. Adicionalmente, este trabajo aporta en la actualización del Plan Básico de Ordenamiento Territorial en cuantificar los niveles de amenaza y en las obras de mitigación que se deben construir para mejorar la calidad de vida de la población.

## 2.2. Marco Normativo

A continuación, se presenta los decretos leyes y demás documentos, que presentan los lineamientos de rigen normativamente al tema de investigación:

- **Decreto 879 de 1978:** Por medio del cual se presentan todas las disposiciones que deben regir al momento de efectuar un ordenamiento del territorio municipal y distrital y territorial.
- **Ley 99 de 1993:** por medio esta ley entra en vigor el Ministerio del medio ambiente y se realizan acciones de mejora y reordenamiento del sector público, que se encontraba a cargo de la gestión y conservación del medio ambiente. al igual que se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA y se dictan otras disposiciones.
- **Ley 388 de 1997:** mediante la cual se dictan todas las normas que rigen sobre el plan de desarrollo municipal, al igual que se identifica la compraventa y expropiación de bienes dentro del municipio. esta Ley modifica la Ley 1989 y la ley dos de 1991.
- **Ley 400 de 1997:** Por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismorresistentes.
  - **Decreto 93 de 1988:** Por la cual se adoptan el plan Nacional para la prevención y atención de desastres.
  - **Documento CONPES 3146 de 2001:** presenta todas las estrategias que permiten la consolidación del Plan Nacional frente a la prevención y atención de desastres.

- **Ley 1523 de 2012:** remedio de la cual se presenta la política nacional de gestión del riesgo y desastres y también se establece dentro del Sistema Nacional la gestión de riesgos de desastres.
- **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.
- **Decreto 1077 de 2015:** Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector vivienda, ciudad y territorio.

#### **Normativas Complementarias:**

- Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.
- **Decreto 1277 de 1994** por el cual se organiza y establece el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM define en su artículo primero entre otros qué es objeto del IDEAM.

### **2.3. Marco Conceptual**

A continuación, se presenta el marco conceptual que permite que el lector comprenda la temática sobre amenaza, hidrología e inundación.

**Amenaza:** según la ley 1523 del 2012 se representa como cualquier peligro que sea latente, que pueda llegar a afectar un evento físico, el cual es causado de manera natural, accidental, causada o inducida por acción humana.

Generando consigo un impacto en la salud, servicios, recursos ambientales los bienes y la infraestructura.

se considera como una superficie en proyección horizontal que se encuentra limitada por el parteaguas.

**Caudal:** se refiere a la cantidad o volumen de agua, que es transportado por el río determinado de manera transversal por una unidad de tiempo. Éste se expresa en metros cúbicos por segundos ( $m^3/s$ ).

**Creciente:** Se refiere al aumento que tiene el caudal en los ríos.

**Hidrología:** se considera como una ciencia que permite el estudio tanto de las aguas naturales como de los fenómenos y posibles procesos que puedan llegar a presentarse.

**Inundación:** según el grado usuario hidrológico internacional, esto se define como el desbordamiento y exceso de agua fuera de los confines normales.

**Periodo de retorno:** es considerado como el tiempo que pasa entre la ocurrencia de un fenómeno extraordinario y otro.

**Precipitación (mm):** se refiere al agua en forma líquida o sólida, que proviene de la atmósfera y llega a la superficie terrestre.

**Precipitación máxima:** se refiere al momento en el que la precipitación alcanza su promedio aritmético máximo de altura.

**Río:** concentra miento de agua dirigida hacia un mismo curso permanente.

## **2.4. Marco Teórico**

### **2.4.1. Modelación hidrológica de eventos extremos**

La modelación hidrológica para eventos extremos es realizada con fines de conocimiento de la distribución y magnitud de los caudales picos. Es necesario incluir un análisis multi - modelo para la estimación de los hidrogramas asociados a un evento de precipitación, puesto que dichos resultados permiten determinar los órdenes de variación del cálculo, considerando las diferentes metodologías de producción, pérdidas, tránsito de caudales, entre otros. Adicionalmente se realiza la estimación de los caudales máximos considerando el método racional con el fin de referenciar los órdenes de magnitud de dichos cálculos.

### **2.4.2. Lluvia de diseño**

Según lo propuesto por Huff (1967), se refiere al diseño hietograma, representado en una distribución temporal de tormentas ubicadas en el primer cuarto cuartil, las cuales son correspondientes a una probabilidad de ocurrencia del 50% acumulado, representando con ello un patrón de lluvia que puede ser excedido por mitad de las tormentas. Por otro lado, Chow et al., (2000), menciona que este diseño se crea con la finalidad determinar con tiempo de duración y de concentración la realización de lluvias y las áreas hidrográficas aferentes.

### **2.4.3. Hidrograma unitario del SCS**

El euro grama se considera como un estudio basado en el análisis de una información amplia de números de hidrograma unitarios naturales, los cuales se caracterizan por tener un amplio rango dentro de las cuencas hidrográficas y sitios

geográficos. Este modelo o método llamado hidrograma unitario sintético del SCS, se caracteriza por la relación que se presenta dentro del tiempo base y el tiempo al pico, adicional a ello configura una función adimensional del hidrograma lo que permite la realización de un hidrograma unitario con forma típica (Monsalve, 1999). Para esta metodología es necesario tener en cuenta que el caudal pico del hidrograma  $Q_p$  no debe superar el 1mm de precipitación efectiva.

$$t_p = \frac{t_r}{2} + t_l$$

$$\frac{t_r}{t_c} = \frac{2}{15}$$

Donde,

- $t_p$ : Tiempo al pico del hidrograma.
- $t_r$ : Tiempo de duración de la lluvia.
- $t_l$ : Tiempo de desfase.

En general, el tiempo de desfase se centraliza por encima del 50% considerado como el tiempo de concentración ( $t_c$ ) perteneciente a la cuenca hidrográfica, fluctuando entre diferentes propuestas metodológicas.

$$t_l = (3/5) * t_c$$

$$Q_p = \frac{0.208A}{t_p}$$

Donde:

- $Q_p$ : Caudal pico del hidrograma.

- $A$ : Área de drenaje.
- $t_p$ : Tiempo al pico del hidrograma.

Según La U.S. Army Corps of Engineers (USACE, 1987), propone evaluar en tiempo retardo  $t_p$  en función del tiempo de concentración  $T_c$ . Diferentes estudios han determinado que dicho tiempo de retardo, corresponde al rango entre 50-75% de  $T_c$ , centralizándose en:

$$t_p = 0.60 * T_c$$

#### **2.4.4. Modelo de tránsito Muskingum**

Se configura a partir de la ecuación de almacenamiento, donde se supone que no existen aportes intermedios en el tramo de los drenajes en estudio, modelando el almacenamiento volumétrico de creciente en una fuente hídrica superficial, mediante la combinación del almacenamiento de cuña y prisma. El tránsito Muskingum utiliza 2 parámetros de ajuste ( $K$ ,  $X$ ), los cuales determinan la atenuación y retardo de la respuesta del hidrograma.

#### **2.4.5. Método de pérdidas del SCS**

El Soil Conservation Service (SCS) con el desarrollo de numerosas investigaciones realizadas a diferentes suelos en diversos estados de vegetación y humedad antecedente, logró estandarizar los valores de  $CN$ , obteniéndose la respectiva curva de variación relacionando el tipo hidrológico del suelo y las coberturas vegetales. La estimación del Número de Curva ( $CN$ ) de la unidad hidrográfica objeto del ejercicio, se realiza a partir de la identificación de la condición hidrológica del suelo

clasificado en literales A, B, C o D, de acuerdo principalmente a su capacidad de drenaje.

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Este método permite que la profundidad de escorrentía se encuentre en función tanto de la profundidad total como del parámetro que hace parte de la abstracción del número de la curva por la cual procede la escorrentía.

#### **2.4.6. Número de curva.**

El rango de fluctuación del  $CN$  varía de cero (0) a 100, siendo 100 la expresión de una superficie totalmente impermeable y cero (0), áreas totalmente permeables. La estimación del Número de Curva ( $CN$ ) de la unidad hidrográfica objeto de estudio, se realiza a partir de la identificación de la condición hidrológica del suelo clasificado en literales A, B, C o D, de acuerdo principalmente a su capacidad de drenaje. A continuación, se describe de forma general, los escenarios que reflejan los tipos de suelo.

##### **2.4.6.1. Suelos Tipo A.**

Suelos con bajo potencial de escorrentía, producto de las altas tasas de infiltración hasta en situaciones muy húmedas. Se clasifican por ser arenas y gravas muy profundas de bueno a excesivo drenaje.

#### **2.4.6.2. Suelos Tipo B.**

Se caracterizan por ser suelos con moderado potencial al escurrimiento, correspondientes a tasas de infiltración moderada, en estratos con profundidad media hasta muy profundos, categorizados con drenajes moderados, texturas moderadamente finas a gruesas, permeabilidad fluctuante entre lenta y rápida.

#### **2.4.6.3. Suelos Tipo C.**

Suelos con infiltración lenta en situaciones muy húmedas, sus estratos son limitados y se caracterizan por referenciar texturas moderadamente finas a finas, suelos con infiltración lenta o con niveles freáticos moderados. Dichos suelos se caracterizan por estar pobremente drenados hasta moderadamente drenados.

#### **2.4.6.4. Suelos Tipo D.**

Suelos con infiltración muy lenta, se destacan por ser suelos arcillosos en ocasiones expansivos, con nivel freático alto de forma persistente, suelos con estrato superficial, infiltración muy lenta y pocos profundos, determinando escenarios cercanos a la impermeabilidad.

#### **2.4.7. Caudales máximos**

Esta es la estimación en la que se presentan los caudales máximos, los cuales se encuentran dentro de un área hidrográfica identificada como el área de análisis u objeto de estudio, esta estimación es realizada por medio de la implementación y selección de un método que permite dar respuestas de acuerdo con las diferentes metodologías de producción, pérdidas y tránsito de caudales.

### 2.4.8. Modelación hidráulica - HEC RAS (2D)

La modelación hidráulica, se realizó por medio de un software llamado HEC-RAS 6.0.0. el cual permite la modelación en simulación bidimensional, utilizando como base las siguientes ecuaciones las cuales permiten identificar cuál es la conservación de la masa, cabe destacar que estas ecuaciones deben ser aplicadas para aguas con poca profundidad y de 2 dimensiones.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + fv$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + fu$$

En dónde:

- $u, v$ : Componentes de la velocidad en las direcciones “x”, “y”

respectivamente.

- $H$ : Altura desde un nivel de referencia (datum) hasta la lámina de agua.
- $h$ : Altura desde el fondo del canal hasta la lámina de agua.
- $q$ : Fuente/sumidero de flujo.
- $g$ : Aceleración de la gravedad.
- $v_t$ : Coeficiente de viscosidad de Eddy (Horizontal).
- $c_f$ : Coeficiente de fricción de fondo.
- $f$ : Parámetro de Coriolis.

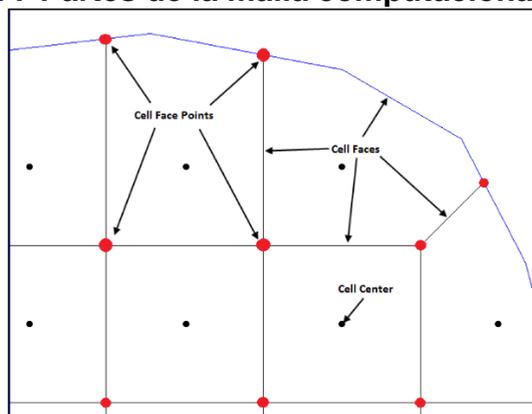
Para el desarrollo del modelo hidráulico se utiliza como información base la topografía y batimetría, caudales de entrada (con la pendiente longitudinal en cada ingreso de caudal), condiciones de salida de caudal y las distintas rugosidades de Manning (n) acorde a las coberturas presentes en el área de modelación y rugosidades equivalentes calculadas previamente.

**Estabilidad computacional y calibración del modelo:** Para la obtención de resultados lo más cercanos a la realidad, basados en el sesgo propio del modelo y las variables que aún no se toman en las ecuaciones gobernantes del software, se decretan condiciones de cumplimiento en el modelo, acorde con las rugosidades que representen adecuadamente la superficie del terreno, tamaños de malla y selección adecuada de las ecuaciones que resuelvan apropiadamente el comportamiento del flujo en el modelo hidrodinámico. Lo anterior garantiza una buena representación (aproximada) de la realidad en el modelo hidráulico.

Tamaño de malla computacional: Para la modelación 2D es necesario establecer una malla computacional, la cual divide la zona de estudio en celdas que constituyen pequeñas porciones del terreno de tamaño casi uniforme por defecto, o variable según se defina. Cada celda se compone de un volumen y un número de caras que puede ir desde tres hasta ocho, las cuales se comunican entre sí dando ingreso y salida del flujo que pasa a través de cada una de ellas. Una celda está constituida por tres partes principales: Puntos en las caras, centro de celda y superficies en los planos x, y ó y, z llamadas caras de celda.

En la siguiente figura se presentan las partes de la malla computacional.

**Figura 7 Partes de la malla computacional.**



Condiciones de Frontera: Como condiciones de frontera para el modelo hidráulico se utiliza la pendiente de fricción, tomada como la pendiente del canal en cada uno de los puntos donde exista entrada o salida de caudal, igualmente se garantiza en cada cara de las celdas la independencia acorde al terreno que posee, es decir, cada entrada o salida tendrá variación de los parámetros hidráulicos generados por el modelo a largo de la línea marcada para tal fin.

Condiciones iniciales y paso de tiempo computacional: Para las condiciones iniciales se toma el tránsito asociado a los periodos de retorno encontrados en los arroyos garantizando su tránsito en la totalidad del tramo simulado, con el fin de obtener el cambio que surge con el desbordamiento de los cuerpos de aguas, además de restricciones de carácter numérico al desarrollar las ecuaciones de Saint Venant como son:

- Tolerancia de error en la superficie de agua de 0,1 m basado en un máximo de 40 iteraciones. En caso tal de presentarse valores de cota de lámina de agua tendientes a la divergencia o con errores altos (mayores a 0,2 m) para un paso de tiempo computacional, se verifica su permanencia en todos los pasos de tiempo de computación; si al paso siguiente o cercano logra estabilizarse y reducir su error a los

estándares estipulados inicialmente, se considera una celda con un resultado aceptable.

- La cota de lámina de agua siempre debe tender a la convergencia, en su solución de cuatro opciones posibles solo se permiten 1 y 2

**Tabla 2 Condición De Solución Para Cada Paso De Tiempo Computacional.**

<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
1	Llegó al máximo de iteraciones (40) convergiendo.
2	Llegó al máximo de iteraciones (40) divergiendo.
3	Llegó al máximo de iteraciones (40) divergiendo con la elevación de la superficie agua (m) positivamente y negativamente.
4	Llegó al máximo de iteraciones (40) convergiendo con la elevación de la superficie agua (m) positivamente y negativamente.

*Nota.* Tabla tomada de US Army Corps of Engineers (2021).

Igualmente, se considera el llenado de las celdas partiendo de condiciones secas, para observar el proceso de calentamiento y adaptación de cada una de ellas con el caudal inicial, a fin de garantizar un buen comportamiento de los caudales mayores en tiempos posteriores. Cabe aclarar que toda condición o restricción será evaluada por el modelador y acorde a la importancia de una celda distante sobre las demás podrá aceptarse y considerarse como una celda cuasiestable, siempre y cuando como se indica pertenezca a un grupo o área de poca relevancia para la investigación.

Para la calibración y estabilidad computacional del modelo se opta por tomar un paso de tiempo computacional ( $\Delta t$ ) de 0,2 s, el cual es la variación temporal para iniciar un nuevo cálculo de las variables hidráulicas en cada celda computacional, esto cumpliendo con la condición de Courant, la cual equilibra la relación “tiempo computacional vs resolución y calidad del resultado que se desea” (sin excedencias);

este tiempo cumple para los todos los tipos de malla computacional acorde a la resolución necesaria objeto del presente estudio.

Este paso de tiempo está ligado a la estabilidad del modelo durante todo el fenómeno en el tramo de estudio, por tanto, este tiempo debe verificarse de inicio a fin para garantizar que durante toda la modelación fue estable. Dentro de las condiciones hidrodinámicas se desprecia el efecto de Coriolis dada la ubicación geográfica de la modelación de interés donde no es relevante.

$$Cr = V_w \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1,0,$$

Despejando  $\Delta t$  se obtiene:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{V_w}$$

Dónde:

- $\Delta t$ : Paso de tiempo computacional (s)
- $\Delta x$ : Resolución (celda) de la malla computacional (m)
- $V_w$ : Velocidad de la onda de inundación [m/s],  $V_w = V * f$ , donde  $V$  es la velocidad media y  $f$  es un factor según el tipo de canal.

Tabla se presenta la relación que existe entre la velocidad de la onda de inundación y la velocidad recomendado.

**Tabla 3 Relación entre la velocidad de la onda de inundación y la velocidad media recomendadas por HEC-RAS 6.0.0.**

<b>Tipo de Canal</b>	<b>Relación <math>V_w/V</math></b>
Ancho Rectangular	1,67
Ancho Parabólico	1,44
Triangular	1,33
Canal Natural	1,5

*Nota.* Tabla tomada de US Army Corps of Engineers (2021).

## **Capítulo III**

### **3. Metodología**

Con el fin de desarrollar los objetivos específicos como el general planeado en este documento, se utilizará la siguiente metodología, la cual permitirá identificar el origen de los problemas de inundación por desbordamiento en el municipio Uribia, departamento de La Guajira desarrollando las siguientes fases:

- Fase 1: Análisis hidrológico,
- Fase 2: Análisis hidráulico y
- Fase 3: Estimación de la amenaza de inundación

#### **3.1. Fase 1. Análisis hidrológico**

La caracterización del estudio hidrológico es realizada teniendo en cuenta el enfoque metodológico propuesto a continuación con las siguientes acciones:

- Recolectar la información hidrometeorológica de la zona de estudio
- Definición de las cuencas hidrográficas de los arroyos y cálculo de los parámetros morfométricos
- Análisis hidrológico aplicando la plataforma o software HEC-HMS.

- Hidrogramas de crecientes máximas.

### **3.2. Fase 2: Análisis hidráulico**

En el análisis hidráulico, las condiciones hidrodinámicas se definen como recursos primarios, incluidas la profundidad y la velocidad de las zonas de drenaje e inundación, para secuenciar eventos hidrológicos y diferentes períodos de retorno seleccionados en las condiciones de borde. Los estudios hidráulicos incluyen las siguientes actividades:

- Definición del mallado 2D de acuerdo con el levantamiento topobatimétrico.
- Selección de los coeficientes de rugosidad y condiciones de borde
- Análisis hidráulico aplicando la plataforma o software HEC-RAS.
- Resultados de raster de niveles de agua, velocidades del agua y cobertura de inundación.

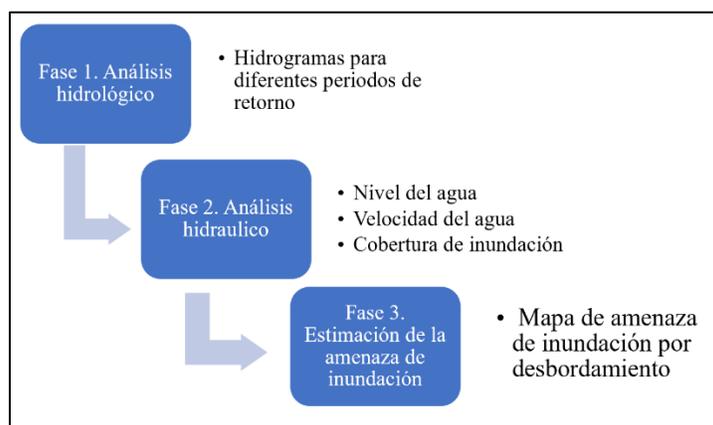
### **3.3. Fase 3: Estimación de la amenaza**

Para estimar la amenaza que representan las inundaciones, se analizaron las variables del método aplicado actualmente a nivel nacional e internacional para elaborar un mapa de amenazas en el que se describe detalladamente el fenómeno de las inundaciones como marco de referencia.

Con base en lo anterior y los resultados del estudio hidrológico-hidráulico, se seleccionará el método de categorización más adecuado para definir la amenaza de inundación en el área de estudio. En este análisis, se evaluaron dos variables, la extensión de la inundación y la frecuencia de los eventos hidrológicos.

A continuación, se presenta el esquema metodológico aplicado al procedimiento explicado anteriormente.

**Figura 8 Esquema metodológico.**



Nota. Elaboración propia.

## Capítulo IV

### 4. Resultados

#### 4.1. Modelación hidrológica

En el presente subcapítulo se muestran los resultados del modelo hidrológico aplicado para la zona urbana del municipio de Uribia en el departamento de La Guajira, en el cual se analizarán los arroyos Chemerrain y Kutanamaná.

##### ***4.1.1. Análisis de la información meteorológica***

Re para lograr el análisis de la información meteorológica, se realizó una identificación de los diferentes niveles, caracterizados por la longitud de las series, el tiempo y el análisis estadístico. Realizando con ello una descripción y tratamiento de datos para cada una de las estaciones que serán utilizadas dentro del modelo hidrológico planteado en esta investigación.

#### 4.1.2. Información secundaria

##### 4.1.2.1. Información climatológica

La información recolectada se considera como secundaria y se consolida en el tratamiento de la información que permite caracterizar las estaciones meteorológicas existentes, tanto en la Cuenca como en el interior de ella y sus alrededores. Por otro lado, se considera que la información meteorológica que se encuentra a disponibilidad pública y a recopilada fue analizada y evaluada detenidamente para que de este modo se pudiera implementar dentro del modelo hidrológico teniendo en cuenta las crecientes máximas.

A continuación, se presenta una tabla de estaciones pluviométricas y climatológicas las cuales permiten identificar la zona de estudio y la descripción del código de la estación, por medio de las coordenadas geográficas y la elevación de la corriente o de la Cuenca. Esta información fue recolectada para el año de registro de los datos de acuerdo con su disponibilidad.

**Tabla 4 Estaciones pluviométricas y climatológicas investigadas.**

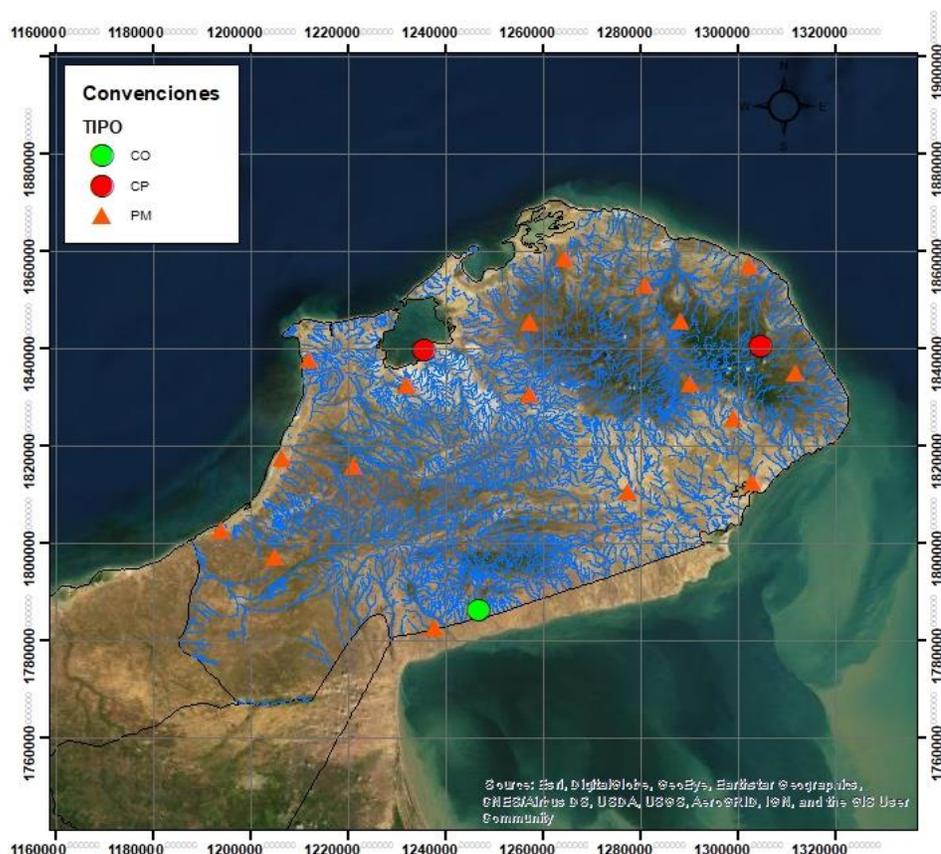
Estación	Código	Tipo	Coordenadas		Municipio	Corriente	Año de Instalación
			Norte	Este			
SANTANA URR	1507001	PM	1212047.8	1837781.1	URIBIA	AY PURARAPU	Aug-71
NUEVO AMBIE	1507002	PM	1264470	1858466.2	URIBIA	AY AMAIJUI	Jul-71
BUENOS AIRE	1507006	PM	1288220.7	1845734.3	URIBIA	AY ERRUMAJA	Jul-71
IRRAIPA	1507007	PM	1232020.3	1832395.9	URIBIA	AY MOCHOHOP	Aug-71
KAURAQUIMAN	1507008	PM	1290089.4	1832906.2	URIBIA	AY SISHIPAN	Jul-71
PERPANA	1507009	PM	1257418.9	1830722.9	URIBIA	AY URESH	Jul-71
CARRIZAL	1507010	PM	1206744.1	1817377.4	URIBIA	MAR CARIBE	Jul-71
JOJONCITO	1507011	PM	1221250.6	1815709.6	URIBIA	AY JOJONCIT	Aug-71

Estación	Código	Tipo	Coordenadas		Municipio	Corriente	Año de Instalación
			Norte	Este			
AHUYAMA	1507012	PM	1194089.7	1802573	URIBIA	AY ERRURETU	Aug-71
CAIMITO	1507019	PM	1280852.2	1853082.5	URIBIA	AY YORROROK	Apr-78
TUMAMANA	1507020	PM	1257290.8	1845447.5	URIBIA	AY PARIYEHE	Jan-79
OROCHON	1507024	PM	1205028.7	1797110.7	URIBIA	JOJONCITO	Jun-76
PTO BOLIVAR	1507506	CP	1235556.9	1839730.2	URIBIA	MAR CARIBE	Oct-86
PTO ESTRELL	1508001	PM	1302593.2	1856954.4	URIBIA	MAR CARIBE	Jul-71
SIPANAO	1508002	PM	1311866.1	1834899.1	URIBIA	AY WORU	Jul-71
SIAPANA	1508004	PM	1299317.6	1825577.4	URIBIA	AY TOPIO	Jul-71
SILLAMANA	1508007	PM	1277654.9	1810640.6	URIBIA	AY JAIRIYU	Jul-71
JASAY	1508008	PM	1237857.7	1782625.4	URIBIA	AY JASALUHU	Jul-71
PTO LOPEZ	1508009	PM	1303045.5	1812656.6	URIBIA	MAR CARIBE	Sep-37
NAZARETH	1508502	CP	1304616.7	1840361.7	URIBIA	AY SHARIMAH	Jul-71
RANCHO GRAN	1508504	CO	1246885	1786349.6	URIBIA	AY PARAJIMA	Jul-71

Nota. De acuerdo con la anterior tabla, es posible hacer uso de la estación pluviométrica Orochon con código 1507024 y la estación Tumamana con código 1507020, las cuales son las estaciones más cercanas a las cuencas de los arroyos que cruzan el municipio de Uribia.

Cabe resaltar que las estaciones hacen parte de la red hidrometeorológica lógica del Instituto de hidrología,

**Figura 9 Ubicación de las estaciones meteorológicas.**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

#### **4.1.3. Análisis exploratorio de los datos de las estaciones**

En cuanto al análisis exploratorio se logra identificar que los datos estudiados, se caracterizan por presenta homogeneidad dentro de las series resultantes, Por otro lado, también se permite definir la presencia de uniformidad dentro del parámetro medido indicando con esto un comportamiento específico en el tiempo, el cual fue aplicado después de seleccionar registros mayores a 15 años. con base en lo anterior se permite concluir que para la fase exploratoria es necesario presentar un control de calidad gráfico que permite detectar cuáles son las tendencias y los datos anómalos, característicos de esta fase estadística.

En la siguiente tabla se presenta el estado de precipitación y en tipificado dentro de los años 1976 a 2016, haciendo uso de porcentaje faltantes.

**Figura 10 Estado información estaciones de caudales.**

Estación	Código	Tipo	Año de registro		Longitud Serie	% Datos Faltantes
			Inicial	Final		
OROCHON	1507024	PM	1976	2016	40	1
TUMAMANA	1507020	PM	1978	2002	24	0

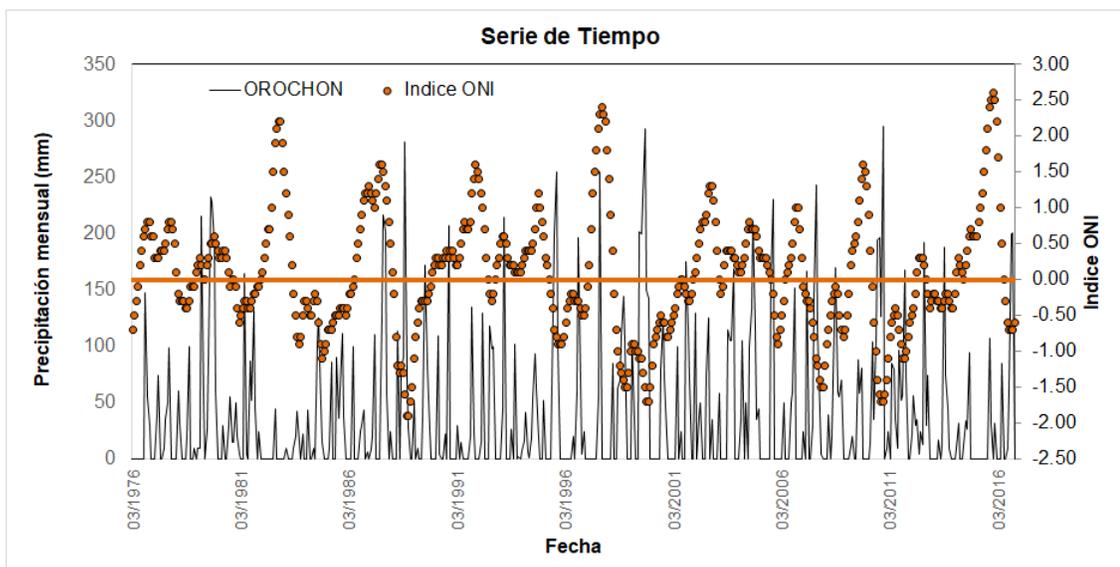
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

Con base en la tabla anterior se logra realizar una verificación de calidad de la información que es utilizada, determinando por medio del porcentaje de información disponible y el orden de las series de las estaciones que en las que no se presentó información ni datos mínimos a un 80%, o aquellos registros menores de 15 años. Determinando entonces qué tanto las estaciones de Orochon y Tumamana, son las más apropiadas para seguir con el análisis.

Lisis de consistencia y homogeneidad realizado las estaciones anteriormente seleccionadas se considera que éstas están ubicadas en las cuencas del municipio, por tal motivo de los resultados que muestran permiten identificar un análisis de las series y por ende la representación de los cambios, por medio de la prueba T Simple.

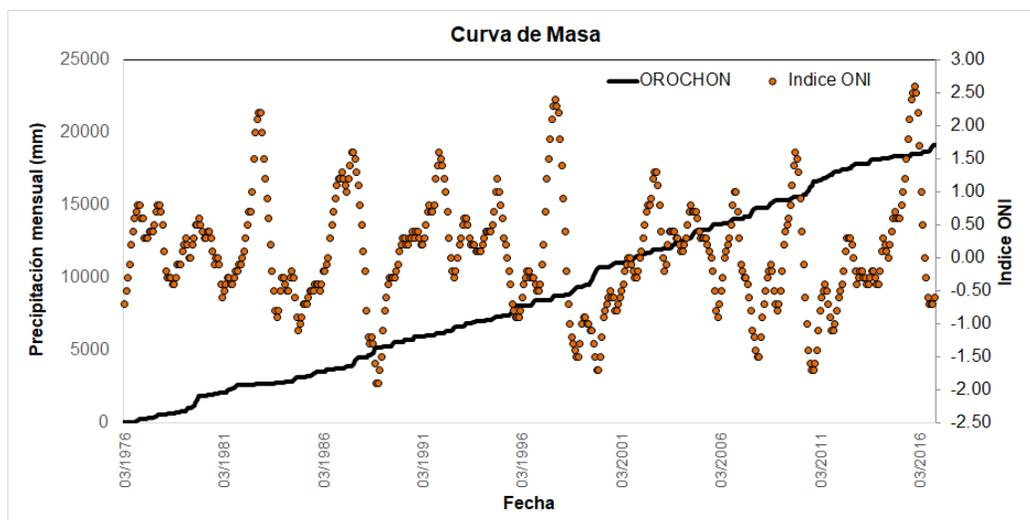
A continuación, se presenta de manera gráfica cuál es el comportamiento de las series de tiempo de precipitación de las estaciones Orochon y Tumamana, ubicada en Uribia.

**Figura 11 Precipitación total mensual - Estación Orochon.**



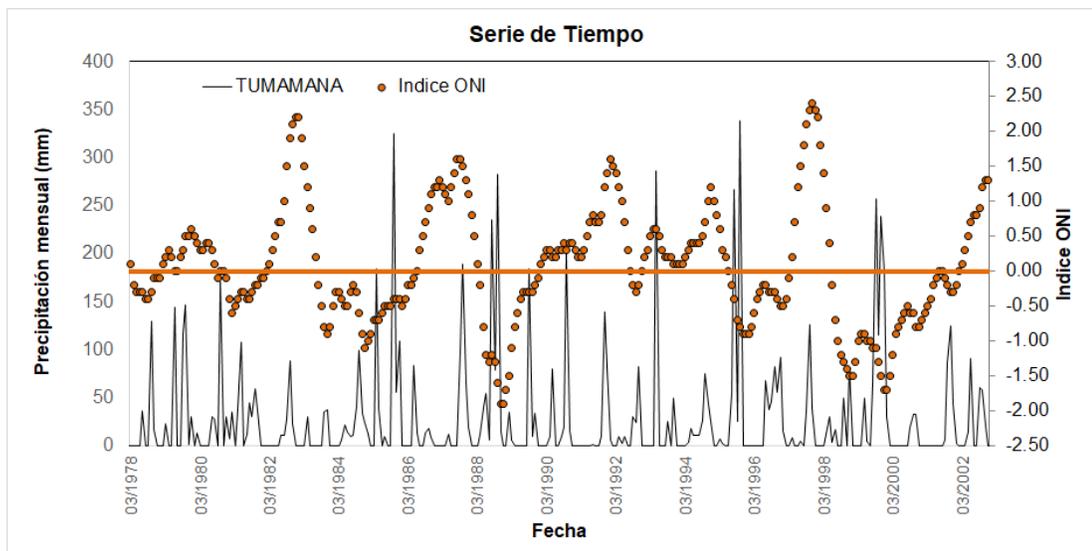
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

**Figura 12. Curva de masa de precipitación total mensual - Estación Orochon.**



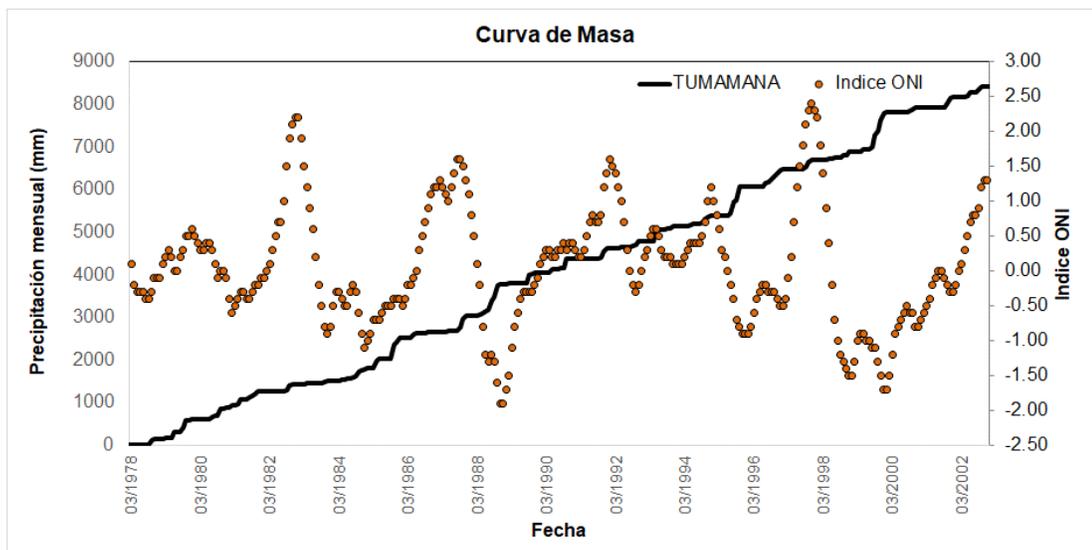
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

**Figura 13. Precipitación total mensual - Estación Tumamana.**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

**Figura 14. Curva de masa de precipitación total mensual - Estación Tumamana.**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

## 4.2. Análisis de homogeneidad

Para el análisis de datos con homogeneidad, se realizó una metodología de comparación de parámetros que permiten obtener, a partir de los datos estadísticos ya encontrados dentro de las series, la identificación de la media, la varianza, la covarianza y además identificación de datos estadísticos que permiten determinar funciones enfocadas a la distribución y a la probabilidad según la prueba usada (Salas, 1992). Con base en lo anterior se logra identificar que para la realización de las pruebas aplicadas a la estación pluviométrica ubicada en la Cuenca del arroyo Jojosito, es necesario la implementación de pruebas estadísticas como la prueba T simple (Letternmaier, 1976b) y para el cambio en la Varianza se hace uso de la prueba F simple (Salas, 1992).

En la siguiente tabla se presenta en manera detallada y resumida los resultados que se obtuvieron luego de la realización del análisis de homogeneidad, con una periodicidad anual para cada estación. Indicando con ello que gracias a la información estadística se acepta la hipótesis, la cual se basa en la existencia de un cambio en la media y la varianza, correspondiente a la magnitud y a la variación que tiene la variable, a partir de la evaluación de igualdades con base en las medidas de las dos subseries, las cuales son generadas luego de la realización de la división entre la serie original por un punto de cambio.

De acuerdo con los análisis realizados a la estación pluviométrica, no presentan estacionalidad de las series, por lo cual no hay cambios de tendencias de las medias.

**Tabla 5 Resumen de los resultados del análisis de homogeneidad para cambio en la media, la varianza y la tendencia.**

Estación	Código	Período de análisis		Longitud de serie (años)	Prueba T tendencia en la media	Prueba de cambio en la media		Prueba de cambio en la varianza	
		Inicial	Final			Prueba T simple	Fecha de cambio	Prueba F Simple	Fecha de cambio
Orochon	1507024	1976	2016	40	NT	A	-	A	-
Tumamana	1507020	1978	2002	24	NT	A	-	A	-

Nota. La hipótesis al ser aceptada presenta una tendencia (T) y al ser rechazada dentro de la tabla se representa como (NT), a lo concerniente al análisis de cambios en la media y la varianza se escriben con una (A) en caso de que sí sea aceptada y con una (R) en caso de ser rechazada la hipótesis.

Con base en el estudio realizado y la aplicación de prueba T, y prueba F, se logra concluir que se presenta un análisis de tendencia viable y que es posible hacer uso de los datos registrados en las estaciones para continuar y seguir adelante con el análisis hidrológico del municipio de Uribia.

#### **4.2.1.1. Delimitación de las cuencas de estudio en el municipio de Uribia**

A continuación, se presentan la relación que existe entre las subcuencas las cuales están delimitadas y relacionadas de la siguiente manera:

**Tabla 6. Relación de las cuencas delimitadas.**

No.	Cuenca	Área km <sup>2</sup>
1	Chemeraín	250.6
2	Kutanamana	122.7

En cuanto a la delimitación geográfica de las cuencas estas se presentan en la siguiente figura.

**Figura 15 Delimitación de las cuencas.**



Nota. Elaboración propia, productos de la investigación.

#### ***4.2.2. Análisis de frecuencia de lluvias máximas en 24 horas y determinación del aguacero de diseño***

Existen metodologías tanto hidrometeorológicas como empíricas para la determinación de caudales máximos. Entre las metodologías hidrometeorológicas se destaca el Método Racional, Hidrogramas Unitarios Complejo y Sintéticos de Snyder, Triangular y SCS; y las fórmulas empíricas de Burkli – Ziegler, Kresnik, Creager y Baird y Mcwrsith.

*“Al utilizar la formula racional, se supone que el caudal Q toma un valor pico de caudal máximo, cuando, debido a una cierta intensidad de lluvia sobre un área de drenaje, es producido por esa precipitación que se mantiene por un tiempo igual al periodo de concentración del caudal en el punto de consideración”*

Esto quiere decir que la lluvia total caída en toda el área contribuye al cálculo del caudal pico sin tomar en cuenta la capacidad de infiltración del suelo el cual disminuye la escorrentía durante el recorrido del agua desde el punto más lejano aportante en la

cuenca, hasta el punto de salida del caudal. En cuanto al Hidrogramas Unitarios Complejo y Sintéticos de Snyder, este procedimiento tiene utilidad cuando no se cuenta con los datos necesarios conjuntos de caudal y precipitación históricos para la deducción del hidrograma unitario de una cuenca, sin embargo, en el presente caso de estudio una vez analizados los datos disponibles de precipitación, se pudo establecer que eran viables y suficientes para su utilización en el cálculo de los caudales de diseño.

En el caso del hidrograma triangular, es básicamente una forma de presentar el comportamiento de la lluvia similar al método racional, por lo que actualmente no es usado en hidrología, mientras que el método del Hidrograma unitario desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) considera muchas variables, entre las que se encuentran como mayormente determinantes, la abstracción inicial, el tiempo de retardo, el grado de impermeabilidad de los suelos de acuerdo con el estado de su vegetación y la humedad antecedente. Por último, en cuanto a los métodos empíricos, se recomienda su uso solo en el caso de que no sea posible hacer cualquier otra estimación por alguno de los métodos anteriormente descritos.

Por lo anteriormente expuesto se considera oportuno emplear el método del Soil Conservation Service (SCS) para realizar el modelo lluvia-escorrentía del presente estudio. El modelo lluvia-caudal del Soil Conservation Service requiere, como insumo, el valor de la precipitación máxima diaria con un período de retorno predeterminado. Para el efecto, se seleccionó la estación de precipitación que cumplieran con los criterios seleccionados anteriormente, como representativa de las cuencas desde su nacimiento hasta el sector de estudio.

Para la cuenca se produjo una serie de precipitaciones máximas en 24 horas. La obtención de las lluvias con diferentes períodos de retorno se logró mediante un análisis de frecuencia utilizando las distribuciones Normal, Log Normal, Pearson tipo III, Log Pearson tipo III, valores extremos y Gumbel, con el propósito de seleccionar la que mejor represente el comportamiento de los datos disponibles.

El cálculo de las lluvias máximas con diferentes períodos de retorno se efectuó mediante una hoja electrónica en Excel.

**Tabla 7. Precipitaciones máximas en 24 horas con diferentes períodos de retorno.**

Estación	Código	Distribución Seleccionada	Tr [Años]				
			5	10	25	50	100
Orochon	1507024	GUMBEL	95.70	113.70	136.30	153.10	169.80
Tumamana	1507020	VALORES EXTREMOS	94.80	112.13	131.85	145.19	157.53

#### **4.2.3. Caracterización morfométrica**

Para la caracterización morfo métrica se hizo necesario la aplicación de diferentes procedimientos que permitían un estudio tanto de la morfología como la geomorfología, caracterizando este modo los rasgos propios de las cuencas hidrográficas, descritas en valores numéricos, lo cual permitiría realizar una comparación detallada y exacta entre dos diferentes superficies terrestres

Estos parámetros se lograron identificar la relación existente entre el régimen hidrológico de una microcuenca y la forma del terreno en la que se desarrolla el fenómeno. Al igual que se logró identificar las formas de la superficie terrestre y la situación en altitud, la cual se consideró que tenía una influencia importante sobre los factores que condicionan el régimen hidrológico, la precipitación, la escorrentía, la

infiltración y la formación de depósitos y de sedimentos que formaban la superficie terrestre.

Considerando con ello que los valores morfo métricos son fundamentales y permiten documentar de manera analógica y territorial cualquier relación hidrológica. Ya para la caracterización morfo métrica, se realizaron metodologías de verificación, las cuales permitieron dibujar líneas divisorias de aguas y calcular entre ellas sus características más determinantes sobre la cartografía básica.

Estos parámetros fueron analizados y revisados por el SIG lo cual permitió eliminar cualquier posible inconsistencia en las medidas y permitir con ello la obtención de un insumo adecuado para lograr mantener un modelo digital de terreno, en donde se involucrará la red de drenaje y la delimitación de las subcuencas, las cuales se calcularon con parámetros morfo métricos y en tiempos de concentración determinados para cada una de ellas.

#### 4.2.3.1. Índices morfométricos de las cuencas

En la siguiente tabla se presentan de manera detallada los parámetros morfo métricos de cada una de las cuencas analizadas para el Arroyo Chemerain y el Arroyo Kutanamana, remitiendo estimar los tiempos de concentración de la siguiente manera:

**Tabla 8 Parámetros morfométricos cuencas.**

Nombre	Área	Perímetro	Longitud recta de la cuenca	Ancho de la cuenca	Pendiente media de la cuenca	Elevación media de la cuenca	Longitud del cauce principal	Pendiente media del cauce	Tiempo de concentración	
	km <sup>2</sup>	km	km	km	%	-	m.s.n.m.	km	%	horas
<b>Arroyo</b>	250.60	93.14	40.77	6.15	14.97	Accidente	65.8	44.17	0.21	17.01

Nombre	Área km <sup>2</sup>	Perímetro km	Longitud recta de la cuenca km	Ancho de la cuenca km	%	Pendiente media de la cuenca -	Elevación media de la cuenca m.s.n.m.	Longitud del cauce principal km	Pendiente media del cauce %	Tiempo de concentración horas
<b>Chemeraín</b>										
<b>Arroyo Kutanamana</b>	122.71	67.07	22.27	5.51	13.61	Accidente	38.2	27.83	0.18	14.38

Nota. Elaboración propia, productos de la investigación.

**Tabla 9. Parámetros de forma de las cuencas.**

Nombre	Coeficiente de compacidad		Coeficiente de forma		Índice de alargamiento	
	-	Clasificación	-	Clasificación	-	Clasificación
Arroyo Chemeraín	1.66	Presenta una tendencia oblonga	0.15	Presenta una baja susceptibilidad a las avenidas, debido a ser alargada.	6.63	Se considera una cuenca con proporción alargada.
Arroyo Kutanamana	1.71	Presenta una forma oblonga que tiende hacia rectangular.	0.25	Presenta una baja susceptibilidad a las avenidas, debido a ser alargada.	4.04	Se considera una cuenca con proporción alargada.

Nota. Elaboración propia, productos de la investigación.

#### **4.2.4. Crecientes de acuerdo con los periodos de retorno**

Las crecientes se calculan haciendo uso del programa HEC-HMS, permitiendo por medio de este programa la construcción sintética de los diferentes ideogramas pertenecientes a la creciente en la Cuenca, aplicando para ello un modelo lluvia al caudal. Por otro lado, se aplica el método del Soil Conservation Service el cual permite identificar la escorrentía producida luego de un aguacero, el cual genera condiciones de humedad y se considera como un antecedente complejo para el suelo y su cobertura.

La lluvia efectiva es el escurrimiento directo e inmediato que produce una lluvia sobre una determinada cuenca y resultan igual a la lluvia total menos las pérdidas de agua. Estas pérdidas poseen tres componentes:

- Interceptación por parte de la vegetación
- Detención superficial, e
- Infiltración

Para una determinada lluvia, la relación entre la precipitación, la escorrentía y la retención (precipitación que no se convierte en escorrentía) es:

$$\frac{F}{S'} = \frac{Q}{P_e}$$

F: es la retención real

Q: es la escorrentía real

S': es la máxima retención potencial

Pe: es la máxima escorrentía potencial

Si se acepta que:  $F = P_e - Q$ , entonces:

$$\frac{P_e - Q}{S'} = \frac{Q}{P_e}$$

Y despejando S' se obtiene:

$$S' = \frac{(P_e)^2}{Q} - P_e$$

Sabiendo que:  $S = S' + I_a$ ; donde  $I_a$  son las abstracciones iniciales; se tiene que:

$$F = (P - I_a) - Q$$

El valor de S para una determinada condición de frontera ha sido propuesto por el Soil Conservation Service igual a  $0,2 Pe$ ; por tanto:  $Ia = 0,2S$ . Efectuando reemplazos se obtiene la expresión para determinar la escorrentía acumulada en función de la lluvia total y de la infiltración potencial.

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

La cual, en el sistema internacional (SI) se transforma en la siguiente:

$$Q = \frac{(P - 5,08S)^2}{P + 20,32S}$$

Donde:

Q: lluvia efectiva o escorrentía acumulada, en mm.

P: precipitación total del evento, en mm.

S: infiltración potencial, en mm.

En esta fórmula la precipitación total del evento es conocida, dado que se determina de antemano y el valor de la infiltración potencial "S" se puede calcular a partir de un cierto valor CN, denominado Curva Número, con la siguiente expresión:

$$S = \frac{1.000}{CN} - 10,0$$

La selección del valor CN en cada caso, se realiza considerando los siguientes cuatro parámetros:

- Tipo de suelo hidrológico
- Uso y tratamiento del suelo
- Combinaciones hidrológicas de suelo y vegetación, y
- Condiciones de humedad antecedente a la lluvia de diseño.

En la presente metodología se supone que el hidrograma unitario es triangular, el cual se calcula con las siguientes relaciones:

$$V = \frac{q_p \cdot t_b}{2}$$

V: volumen de escorrentía, igual al área bajo el hidrograma triangular, en m<sup>3</sup>

q<sub>p</sub>: caudal pico del hidrograma triangular, en m<sup>3</sup>/s/mm

t<sub>b</sub>: tiempo base del hidrograma unitario, en horas.

A: área de la cuenca aferente, en km<sup>2</sup>

De esta manera, el caudal pico del hidrograma para un milímetro de lluvia efectiva es:

$$q_p = \frac{0,2083 \cdot A}{t_p}$$

q<sub>p</sub>: caudal pico del hidrograma triangular, en m<sup>3</sup>/s/mm

A: área de la cuenca aferente, en km<sup>2</sup>

t<sub>p</sub>: tiempo al pico del hidrograma unitario triangular, en horas

El tiempo al pico se define de la siguiente manera:

$$t_p = \frac{D}{2} + 0,6 \cdot t_c$$

D: duración de la lluvia efectiva, en horas.

t<sub>c</sub>: tiempo de concentración de la cuenca, en horas. Es el tiempo que consume la gota de lluvia más alejada en llegar al sitio de interés. Los diferentes métodos para calcularlo se presentan más adelante.

El tiempo de retraso (lag) es:

$$t_r = 0,6 \cdot t_c$$

El tiempo base del hidrograma unitario se calcula como:

$$t_b = 2,67 \cdot t_p$$

En caso de que no existan suficientes datos para definir la duración de la lluvia efectiva (D, en horas) que produce el mayor caudal pico en el hidrograma, ésta se puede determinar, aproximadamente, de la siguiente manera para cuencas grandes ( $A > 2 \text{ km}^2$ ):

$$D = 2 \sqrt{t_c}$$

y se puede tomar igual al tiempo de concentración ( $t_c$ ) en cuencas pequeñas ( $A \leq 2 \text{ km}^2$ )

En general, el cálculo del hidrograma de la creciente posee un carácter aproximado. Por tratarse de un modelo lluvia-caudal, inicialmente se determina el valor de la lluvia de diseño, su duración y su distribución en el tiempo y en el espacio.

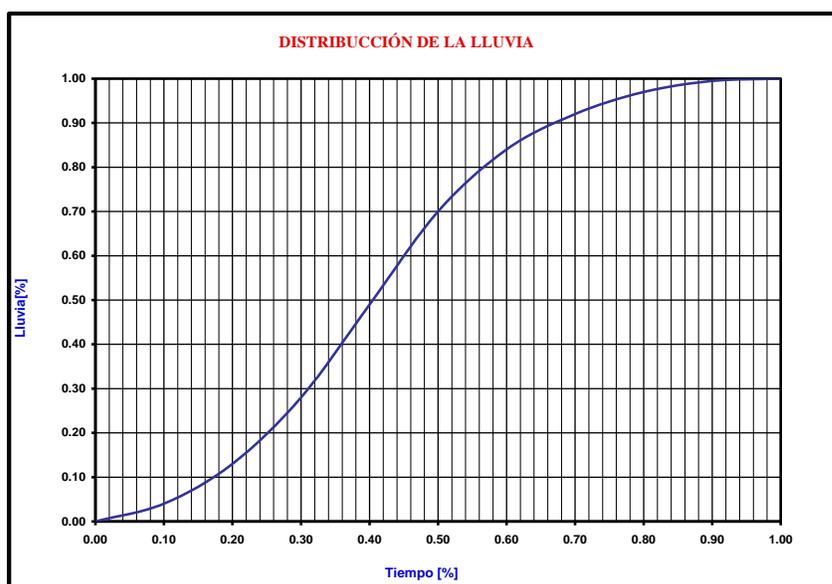
A partir de ella se calcula la lluvia efectiva y, por último, se construye el hidrograma de la creciente producida, considerando las características de la cuenca y aplicando las propiedades del hidrograma unitario. En detalle, el procedimiento utilizado para construir el hidrograma de la creciente de diseño es el siguiente.

1. Realiza un cálculo del área de la Cuenca por medio de arcgis.
2. Se presentan diferentes periodos de retorno sin embargo se utiliza como valor de las lluvias máximas 24 horas.
3. En cuanto a la duración de la lluvia del diseño, se considera una duración de lluvia de 9 horas.
4. El factor de reducción que se aplica es de 0,70, el cual permite presentar una distribución espacial de la lluvia permitiendo con ello seleccionar.

5. Considerando que se presenta una distribución temporal frente a los aguaceros, al igual que las estaciones son aleatorias es necesario adoptar medidas que vayan de acuerdo con una curva de probabilidad no superior al 50% teniendo en cuenta los cuartiles I y IV, que son comúnmente los más empleados para este tipo de investigaciones (Back, 2011).

Continuación se presenta la curva de distribución adaptada a la investigación aquí realizada:

**Figura 16. Curva de distribución del aguacero.**



Nota. Elaboración propia, productos de la investigación.

6. En cuanto a la selección del intervalo se tiene en cuenta que dentro de la investigación se determina que todo periodo de aguacero no debe superar la quinta parte del tiempo correspondiente a la concentración, especificando dentro del modelo que en caso de que se presente una lluvia superior se realizará un proceso de división entre los intervalos de tiempo y duración así: "D" /10.

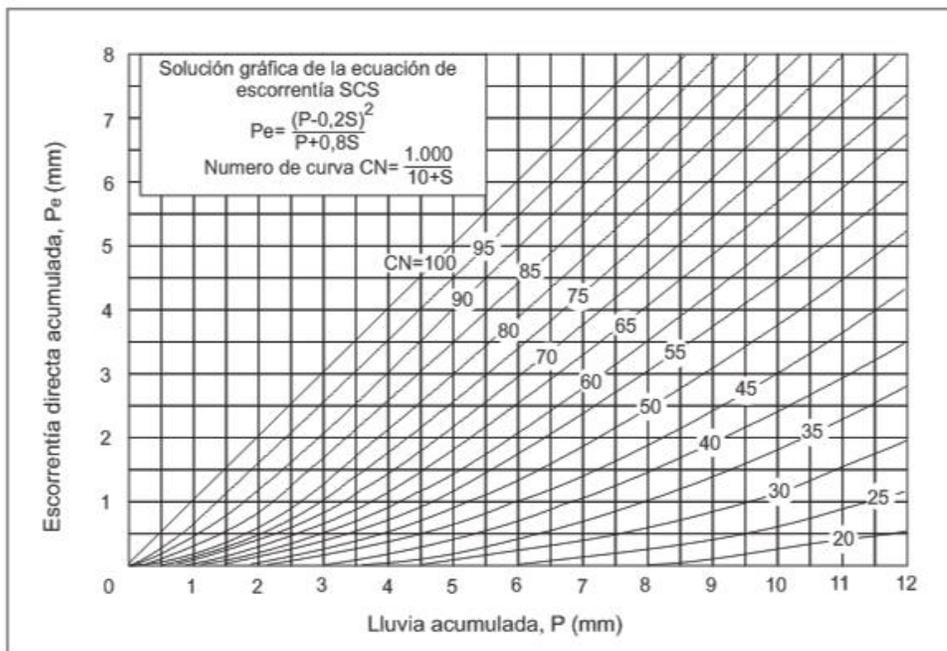
7. Por otro lado se definen a los valores de secuencia de acuerdo con el diseño del aguacero, identificado principalmente que se debe a unos incrementos en tiempo determinado en horas, y que estos registros equivalen al porcentaje de incremento que representa la duración de la lluvia en su totalidad. Describiendo así los incrementos de la lluvia tanto en tiempo como en milímetros para este modo calcular cuáles son los valores acumulados presentes al momento de la lluvia.

8. Para la realización de la ponderación de la influencia será necesario la realización y análisis de las distintas estaciones de precipitación que interviene en las diferentes cuencas y se han aplicado durante todo el modelo hidrológico. Para lo anterior es necesario la realización de polígonos de Thiessen, permitiendo con ello estimar de manera diversa el peso de cada una de las estaciones.

9. Se realiza un de caracterización sobre toda la cobertura vegetal que hace parte de la Cuenca hasta el municipio de Uribia, esto con la finalidad de identificar la superficie de los suelos y de este modo evaluar el parámetro CN.

en cuanto a la selección del parámetro se CN, se tendrán en cuenta tanto el tipo del suelo hidrológico como el uso del tratamiento que se le está haciendo al mismo, permitiendo que el realizar estas combinaciones hidrológicas entre suelo y vegetación se logran identificar las condiciones de humedad y los antecedentes que se han tenido referentes a la lluvia de diseño. lo anterior se expone en la siguiente gráfica.

**Tabla 10 Parámetros de identificación del valor de escorrentía.**



Nota. grafica tomada de Ven T. Chow, 1964

En cuanto a lo referente a la capacidad de infiltración y para definir el valor se CN, se alinean los diferentes parámetros que se han mencionado con anterioridad con respecto el tipo del suelo hidrológico como el uso del tratamiento que se le está haciendo al mismo, gracias al Soil Conservación, se permite clasificar los suelos en cuatro grandes grupos determinados con letras alfabéticas y ordenadas de acuerdo a su potencial y al escurrimiento o tasa de filtración que presentan A, B, C y D. Teniendo en cuenta que esta clasificación se presenta tanto cuando el suelo está desnudo cómo cuando ha sido un merecido de manera prolongada debido al invierno o a la infiltración, generando con ello un estrato de permeabilidad realizado de manera lenta.

Para determinar cuales el tipo de material de cada suelo es necesario realizar un estudio de suelos, con base en ello se logra identificar que la clasificación del suelo debido a su escorrentía y a las altas infiltraciones que presenta caracterizándose por ser

un suelo arenoso y de infiltración muy lenta cuando está húmedo se convierte en un suelo hace que se convierta en un suelo arenoso.

10. Permitiendo así decir que la clasificación de los suelos de acuerdo con el grupo hidrológico puede variar, de acuerdo con lo anterior se logra identificar que el valor de la curva número CN para la condición de humedad antecedente II está determinado de acuerdo con la función del tipo del suelo y a la cobertura vegetal que éste tenga, al igual que se tiene en cuenta el relieve y las características estimadas, para esta investigación representan a aún CN de 76.

11. Se estima la lluvia efectiva, es decir, el escurrimiento directo con las siguientes fórmulas, usando el valor "CN" seleccionado anteriormente, que representa el complejo hidrológico suelo-cubierta vegetal para la condición más apropiada:

$$Q = \frac{(P - 5,08S)^2}{P + 20,32S}$$

$$S = \frac{1.000}{CN} - 10,0$$

Q: lluvia efectiva o escorrentía acumulada, en mm,

P: precipitación total del evento, en mm,

S: infiltración potencial, en mm,

Para lograr realizar el cálculo de los intervalos se analizan los tiempos en "D" determinado en horas y los incrementos que ha tenido la lluvia en cuanto al tiempo representado en milímetros, determinando por medio de esta ecuación cuáles son los valores acumulados de lluvia efectiva de escurrimiento, por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{(P - 5,08S)^2}{P + 20,32S}$$

El valor “S” se determina con la siguiente relación, utilizando el valor “CN” previamente determinado,

$$S = \frac{1.000}{CN} - 10,0$$

#### 4.2.5. Crecientes máximas obtenidas para las cuencas

Siguiendo el procedimiento mostrado en el anterior numeral se utilizó el programa HEC-HMS para realizar los cálculos completos. Cabe mencionar que las crecientes son eventos hidrológicos extraordinarios que se presentan en las corrientes naturales durante las cuales las magnitudes de los caudales superan ampliamente los valores promedio registrados o estimados en dichas corrientes. Por lo tanto, la generación de los hidrogramas de salida se realizó a partir de la consideración del hidrograma unitario, afectado por la esorrentía directa o precipitación efectiva en cada una de las subcuencas. Una vez asignadas las características de la lluvia total espacial, el número de curva CN, el área de drenaje, y del tiempo de desfase para la hoya hidrográfica al modelo Hidrológico Hec-Hms, se calcularon los caudales máximos instantáneos anuales de las crecientes producidas para los distintos períodos de retornos, insumo con el cual se realizará la zonificación.

Los siguientes son los valores de las crecientes obtenidas por cuenca:

**Tabla 11. Resultados del modelo hidrológico para las cuencas**

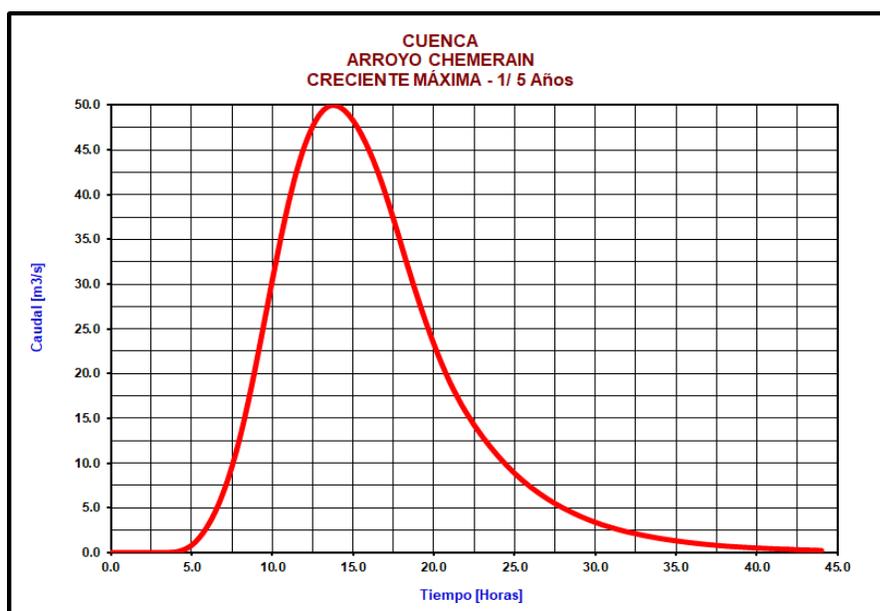
Cuenca	Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s)				
	Tr 100 anos	Tr 50 anos	Tr 25 anos	Tr 10 anos	Tr 5 anos

Arroyo Chemerain	215.92	172.28	131.49	82.54	49.94
Arroyo Kutanamana	138.46	110.42	84.27	53.12	32.24

Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

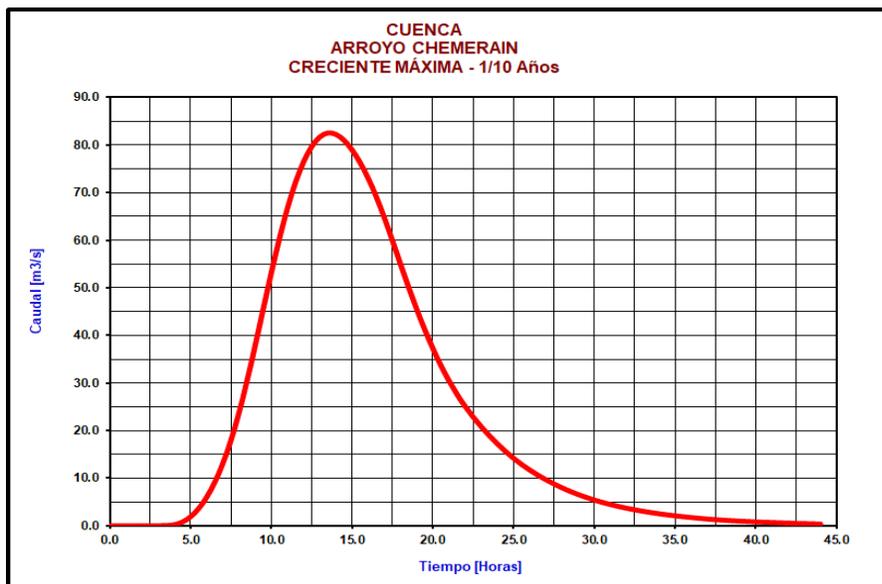
En la siguiente Figura, se presentan los resultados obtenidos en los diferentes periodos de retorno para los arroyos Chemerain y Kutanamana.

**Tabla 12 Hidrograma del Arroyo Chemerain Temporalidad 5 años**



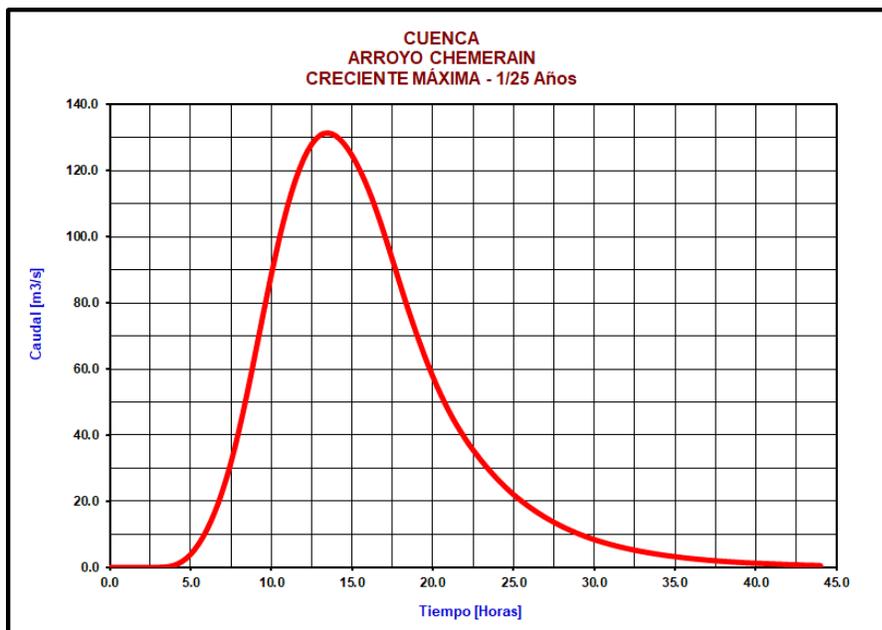
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

Figura 17 Hidrograma del Arroyo Chemerain Temporalidad 10 años.



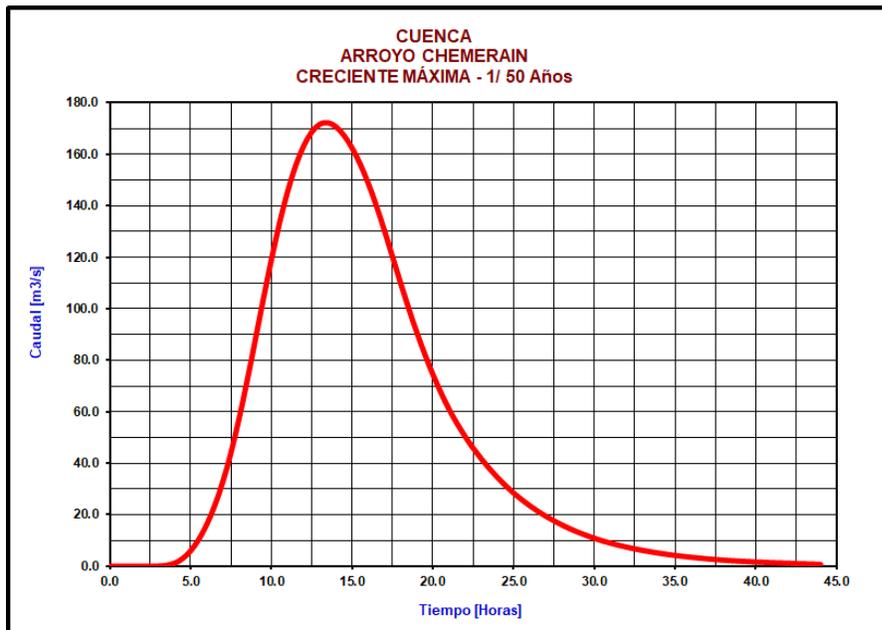
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

Figura 18 Hidrograma del Arroyo Chemerain Temporalidad 10 años.



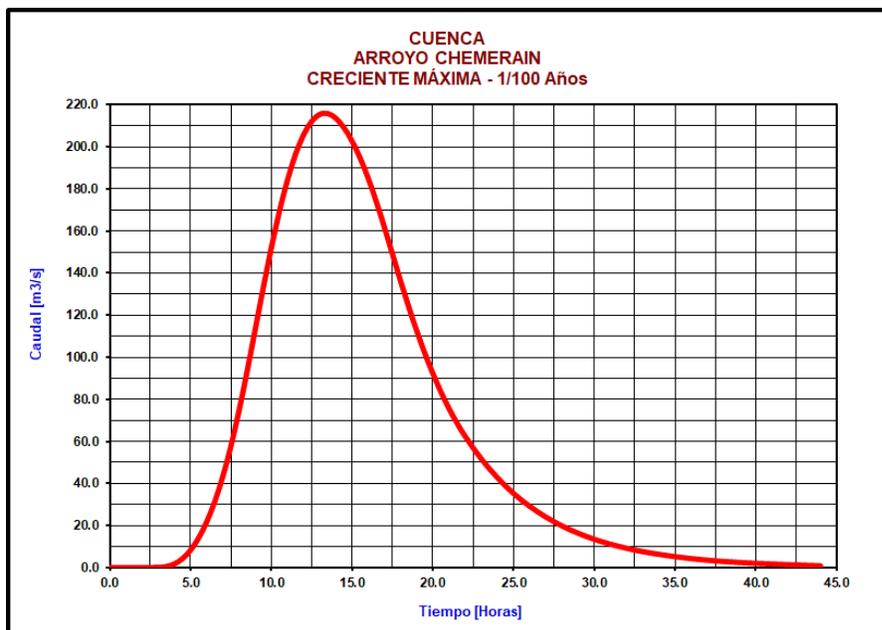
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

Figura 19 Hidrograma del Arroyo Chemerain Temporalidad 50 años.



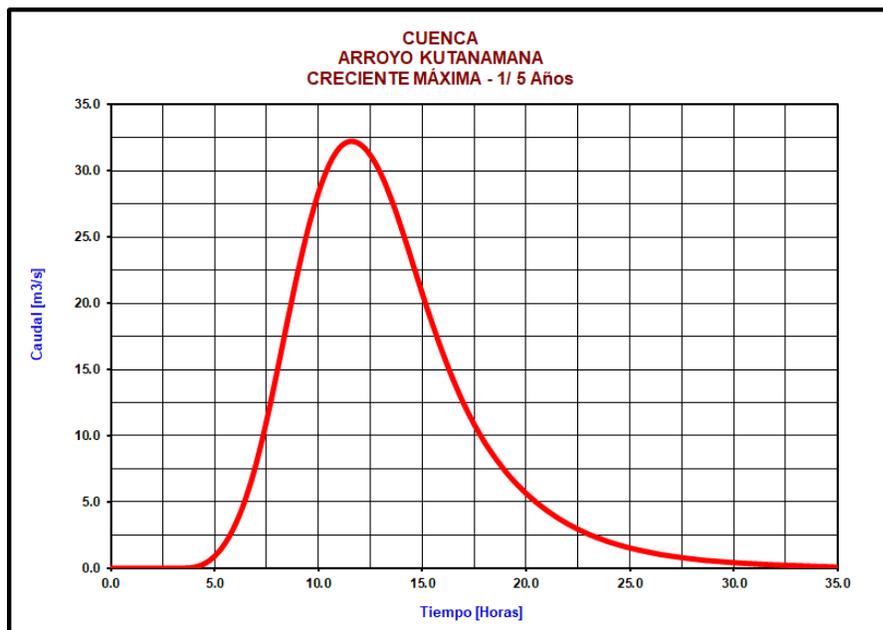
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

Figura 20 Hidrograma del Arroyo Chemerain Temporalidad 100 años.



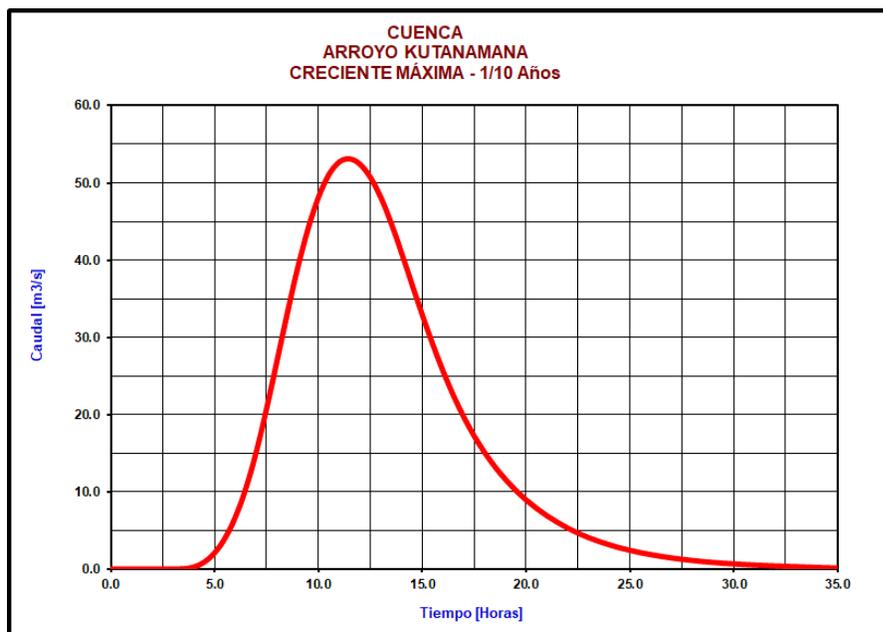
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

**Figura 21 Hidrograma del Arroyo Kutanama Temporalidad 5 años.**



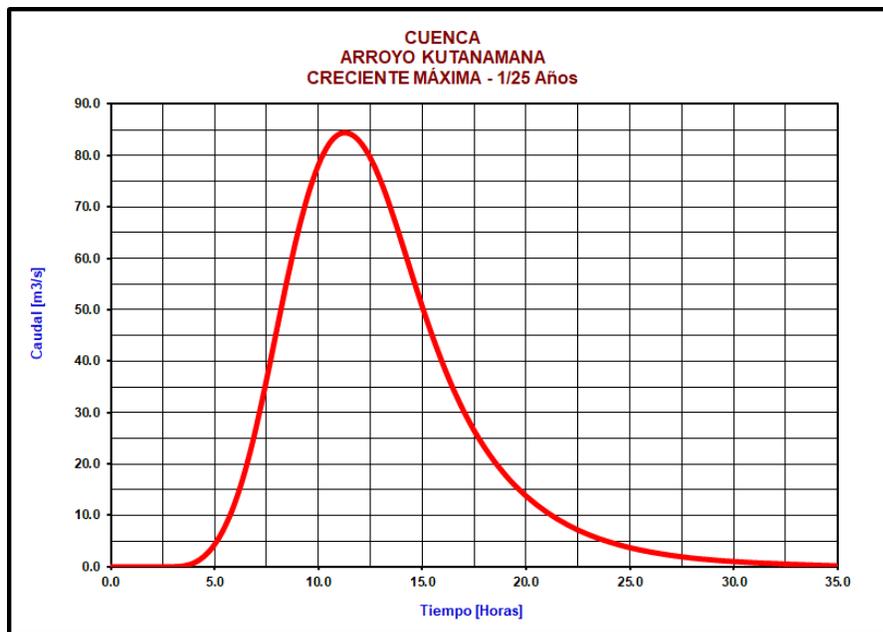
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

**Figura 22 Hidrograma del Arroyo Kutanama Temporalidad 10 años.**



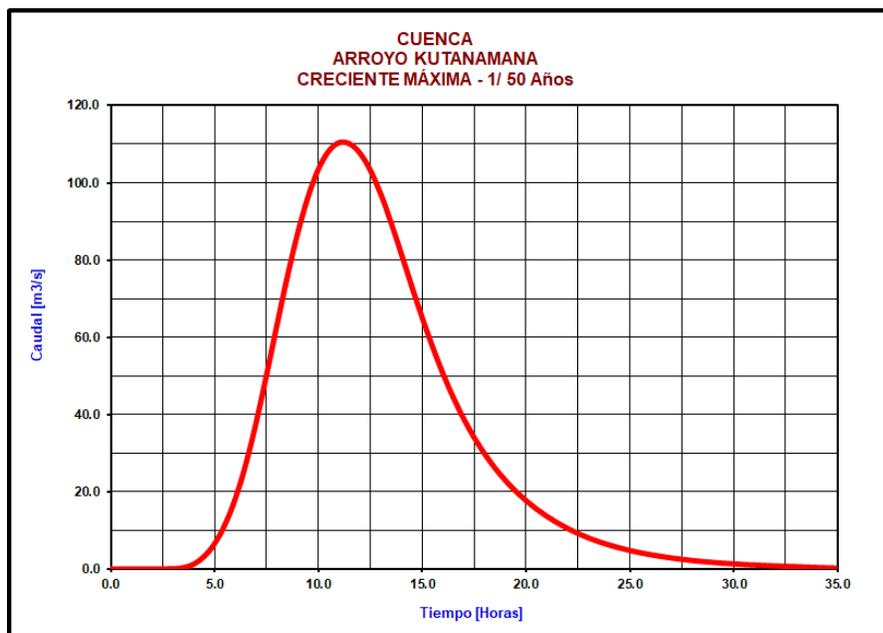
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

**Figura 23 Hidrograma del Arroyo Kutanama Temporalidad 5 años.**



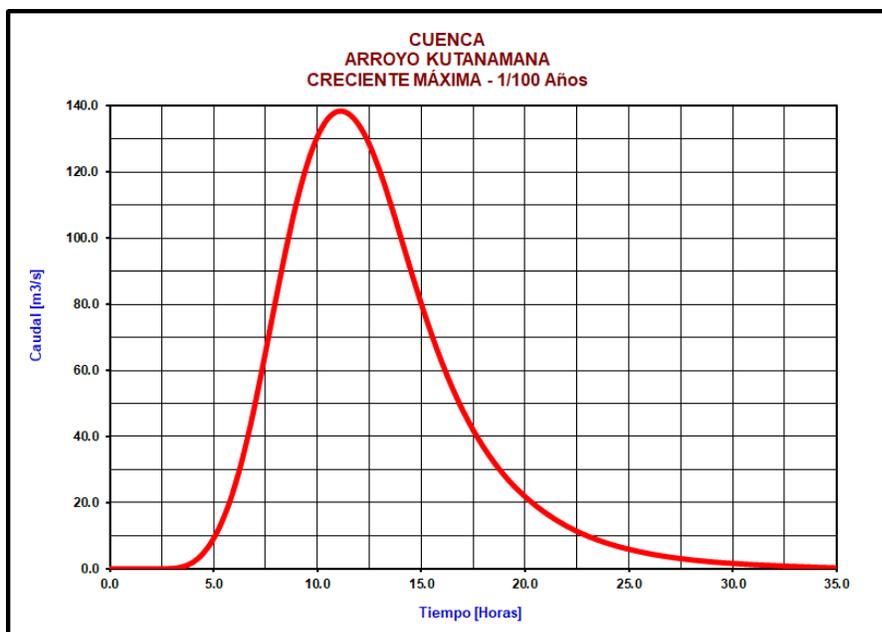
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

**Figura 24 Hidrograma del Arroyo Kutanama Temporalidad 50 años.**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

**Figura 25 Hidrograma del Arroyo Kutanama Temporalidad 100 años.**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

### **4.3. Modelación hidráulica**

#### **4.3.1. Modelos bidimensionales**

Los modelos bidimensionales, son aplicables en la hidráulica fluvial cuando los fenómenos de avenidas o crecientes ocurren, ya que en un cauce es habitual que el comportamiento hidráulico no se restrinja a la controlínea unidireccional de un canal principal (entre bancas o eje ecológico principal), sino que se desborde ocupando las márgenes y la llanura de inundación; es por eso que las simplificaciones de los modelos 1D no permiten captar adecuadamente el comportamiento de los flujos secundarios perpendiculares a la dirección de avance del canal principal, ya que dejan de lado las zonas de recirculación, presentes también al emplazar estructuras

trasversales al cauce, (Bladé, 2009); (Herrero y Isidro, 2009). Existen otras situaciones que también son más adecuadas para la modelización bidimensional como son:

- La confluencia de dos cauces
- El cruce de dos corrientes de agua
- El flujo en un cauce ancho e irregular
- Los flujos alrededor de estructuras
- Derivación de flujo en cauces trenzados
- Cauces compuestos
- Curvas pronunciadas o los entornos urbanos

#### **4.3.2. Software Seleccionado**

Teniendo en cuenta lo mencionado en el apartado anterior, y de acuerdo con los requerimientos para las modelaciones hidráulicas, se seleccionó el Software HEC-RAS en su versión 5.0.6, por sus ventajas para realizar su análisis en 2D. Este tipo de modelización ha permitido que desarrolle nuevas capacidades para la simulación de flujo en 2D; así por ejemplo puede ejecutar modelos en 1D, 2D o una combinación de ambos.

Para el caso de este proyecto se utilizó el Software de Modelación hidrodinámica HEC RAS 5.0.6 del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos. El motor de cálculo de la herramienta resuelve de manera numérica empleando diferencias finitas las ecuaciones de Saint-Venant para el caso 1D y mediante volúmenes finitos las ecuaciones de aguas someras para el caso 2D. Para mayor detalle de las ecuaciones empleadas y los métodos numéricos asociados para su resolución se remite al lector a los manuales de la herramienta de cálculo.

### 4.3.3. Método de los volúmenes finitos

Los volúmenes finitos son un método matemático utilizado para discretizar Ecuaciones Diferenciales Parciales (EDP), que en pocas palabras significa llevar de una EDP a una ecuación algebraica, con el fin de hacer uso de la computación para su solución, a partir de algoritmos. Hay que tener en cuenta que los volúmenes finitos son un método que solo aplica para la discretización de la variación espacial de las EDP, puntualmente los términos advectivos de primer orden y los términos difusivos de segundo orden.

El método de los volúmenes finitos está basado en el método de los residuos ponderados, el cual se puede expresar, a partir de las siguientes ecuaciones.

$$\int_{\Omega} R W d\Omega = 0$$

Donde:

$R$  Residual de la EDP

$W$  Función de ponderación, que para el caso de volúmenes finitos es igual a

1

Se puede escribir la ecuación en forma discreta de la siguiente forma:

$$C^k = \sum_{i=1}^{NN} C_i^k \phi_i(x)$$

Donde:

$C^k$  : Variable de las EDP

$\phi_i(x)$ : Función base, que para volúmenes finitos es igual a 1

$\Sigma_{i=1}^{NN}$ : Sumatoria de  $i$  igual a 1 hasta el número de nodos que tenga la malla

$k$ : Superíndice que representa el tiempo

$i$ : Subíndice que representa el espacio

#### 4.3.4. Ecuaciones de gobierno modulo hidrodinámico

Las ecuaciones de aguas someras parten de las ecuaciones tridimensionales de cantidad de movimiento y continuidad para fluidos Newtonianos e incompresibles. Sin embargo, se consideran las siguientes suposiciones:

- El fluido debe ser homogéneo en su profundidad  $H$ .
- Las velocidades horizontales son mucho mayores a las verticales.
- La distribución de presiones es hidrostática.
- Son mucho mayores las fuerzas inerciales que las fuerzas viscosas.

Las ecuaciones de aguas someras forman un sistema hiperbólico de 3 ecuaciones diferenciales parciales de transporte con 3 incógnitas, estando definidas sobre un dominio espacial bidimensional (Kundu & Cohen, 2008).

- Conservación de la masa

$$\bullet \frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial((H+n)v}{\partial x} + \frac{\partial((H+n)w}{\partial y} = 0$$

- Cantidad de movimiento

$$\frac{\partial(H)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( H v^2 + g \frac{H^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (H v w) = -gH \frac{\partial Z_b}{\partial x} + S_x$$

$$\frac{\partial(H)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (H v w) + \frac{\partial}{\partial y} \left( H w^2 + g \frac{H^2}{2} \right) = -gH \frac{\partial Z_b}{\partial y} + S_y$$

Donde:

$H$ : Profundidad media del flujo (m)

$v$ : Velocidad del flujo en dirección  $x$  (m/s)

$w$  : Velocidad del flujo en dirección  $y$  (m/s)

$S_x$ : Pendiente en la dirección  $y$  (m/m)

$S_y$ : Pendiente en la dirección  $x$  (m/m)

$n$ : Variación de la superficie libre del agua (m)

#### **4.3.5. Implementación del modelo**

Para desarrollar la modelación hidráulica de los arroyos localizados en el municipio de Uribia, fue necesario desarrollar ciertos pasos metodológicos con el propósito de realizar la zonificación de la amenaza de inundación por desbordamiento.

A continuación, se realiza una descripción detallada de los pasos metodológicos desarrollados para realizar la modelación hidráulica.

#### **Configuración del Sistema 2D**

La discretización topológica del sistema se basó en las características del drenaje de la zona de estudio, así como de las lecciones aprendidas de la consultoría en estos tipos de problemas. En términos generales, el dominio se discretizó de la siguiente forma:

Una zona de modelación 2D, compuesto por toda la parte media - baja de la cuenca y la planicie inundable en el municipio de Uribia.

#### **Discretización del Dominio 2D**

Para poder calcular los patrones de flujo en el dominio 2D se hace necesario la discretización de esta área en elementos más pequeños.

La malla después de haber sido refinada empleo celdas de 5.0 m de lado, estos valores de las celdas fueron seleccionados teniendo en cuenta que una malla más

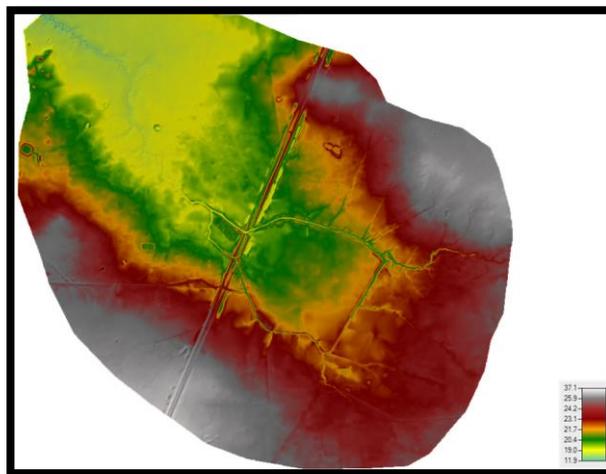
pequeña es difícil muchas veces debido a sus altos costos computacionales. Esto favorecerá al proceso de calibración y verificación del modelo hidrodinámico, el cual consume tiempo y está íntimamente ligado a los tiempos de cálculo para cada uno de los escenarios planteados.

La malla utilizó el Modelo de Elevación digital (DEM) creado por el equipo de SIG de la consultoría, que posee una resolución de 10x10m que fue generado con información primaria.

### **Condiciones de Borde e Iniciales del Modelo**

Para alimentar el modelo, se fijaron una serie de puntos a lo largo del dominio 2D por donde entraría el flujo de agua proveniente de la parta alta de las cuencas que se encuentran en la zona urbana del municipio.

**Figura 26 Modelo de elevación digital**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

### **Configuración de Parámetros Computacionales**

Con el fin de estimar preliminarmente áreas de inundación por desbordamiento, se fijó la simulación para el escenario más crítico determinado en el análisis de

simultaneidad y además con el fin de garantizar la estabilidad numérica y mantener los errores al mínimo en las simulaciones se utilizaron los siguientes parámetros:

**Tabla 13 Parámetros utilizados en la modelación hidráulica.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DATO</b>
Aproximación Numérica	Onda Difusiva
Paso de Tiempo Calculo	0.5hr
Tiempo de Inicialización del Modelo (Warm Up)	48hr
Control Automático de Paso de Tiempo para garantizar convergencia (Time Slicing)	Activado
Paso de Tiempo mínimo	5 second

Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

### **Coeficientes de rugosidad**

Con base en las características obtenidas de estudios anteriores y las observaciones realizadas en campo, se establecen los siguientes coeficientes de rugosidad para los arroyos, lo cual se representan en la siguiente tabla.

De acuerdo con la información de cada uno de los cuerpos de agua y con ayuda de la literatura se asignaron los siguientes valores de rugosidad:

**Tabla 14. Coeficientes de Rugosidad**

<b>Descripción</b>	<b>Valores de Rugosidad</b>
Arroyo Chemerrain	0.035
Arroyo Kutanamana	0.040
Planicie de inundación	0.060

Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

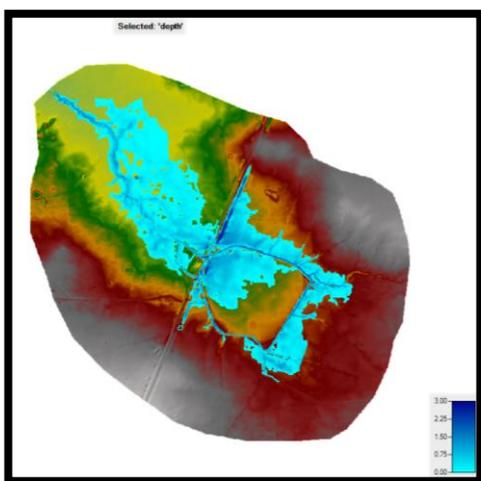
#### **4.3.6. Resultados de la modelación**

A partir de las modelaciones hidráulicas realizadas para del arroyo Chemerrain y Arroyo Kutanamana localizados en el municipio de Uribia, a continuación, se muestran los resultados para cada una de las cuencas en estudio la velocidad, profundidad y mancha de inundación máxima simulada.

#### 4.3.6.1. Resultados para un Periodo de retorno de 5 años

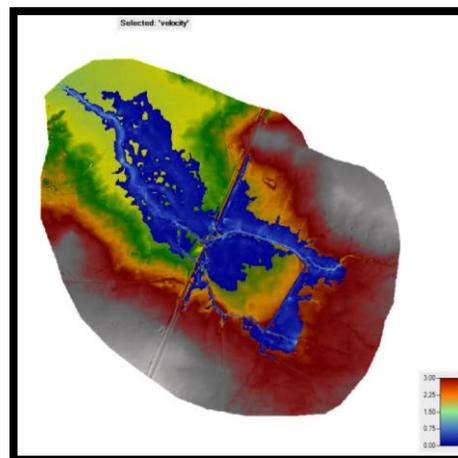
Según los resultados obtenidos en la modelación para un periodo de retorno de 5 años se obtuvo unos niveles del agua varía entre 15.30 y 24.77 msnm, la profundidad del agua se encuentran entre 0 y 3.30 m de altura y las velocidades máximas varían entre 0.00 y 2.64 m/s y con un promedio de 0.18 m/s.

**Figura 27 Profundidad y velocidad máximas del nivel del agua Tr 5 años**



**Profundidades máximas del agua**

**Figura 28 Profundidad y velocidad máximas del nivel del agua Tr 5 años.**



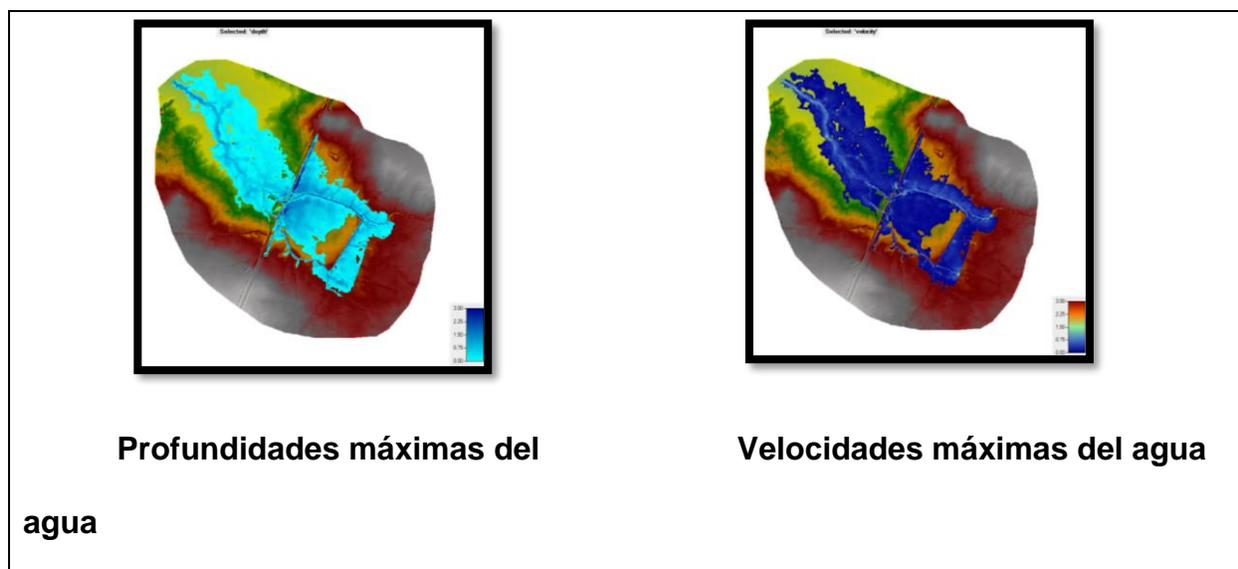
**Velocidades máximas del agua**

Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

#### 4.3.6.2. Resultados para un Periodo de retorno de 10 años

De acuerdo con los resultados obtenidos en la modelación para un periodo de retorno de 10 años se obtuvo unos niveles del agua varía entre 15.62 y 24.93 msnm, la profundidad del agua se encuentran entre 0 y 3.53 m de altura y las velocidades máximas varían entre 0.00 y 2.96 m/s y con un promedio de 0.19 m/s.

**Figura 29 Profundidad y velocidad máxima del nivel del agua Temporalidad 10 años**

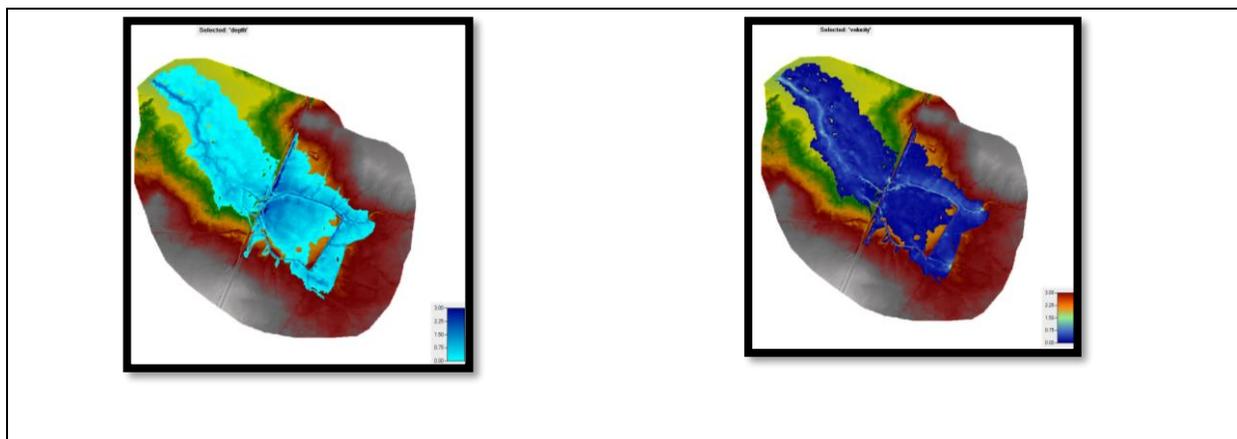


Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

#### **4.3.6.3. Resultados para un Periodo de retorno de 25 años**

Así mismo los resultados obtenidos en la modelación para un periodo de retorno de 25 años se obtuvo unos niveles del agua varía entre 15.75 y 25.12 msnm, la profundidad del agua se encuentran entre 0.0 y 3.76 m de altura y las velocidades máximas varían entre 0.0 y 3.37 m/s y con un promedio de 0.23 m/s.

**Figura 30 Profundidad y velocidad máxima del nivel del agua Tr 25 años.**

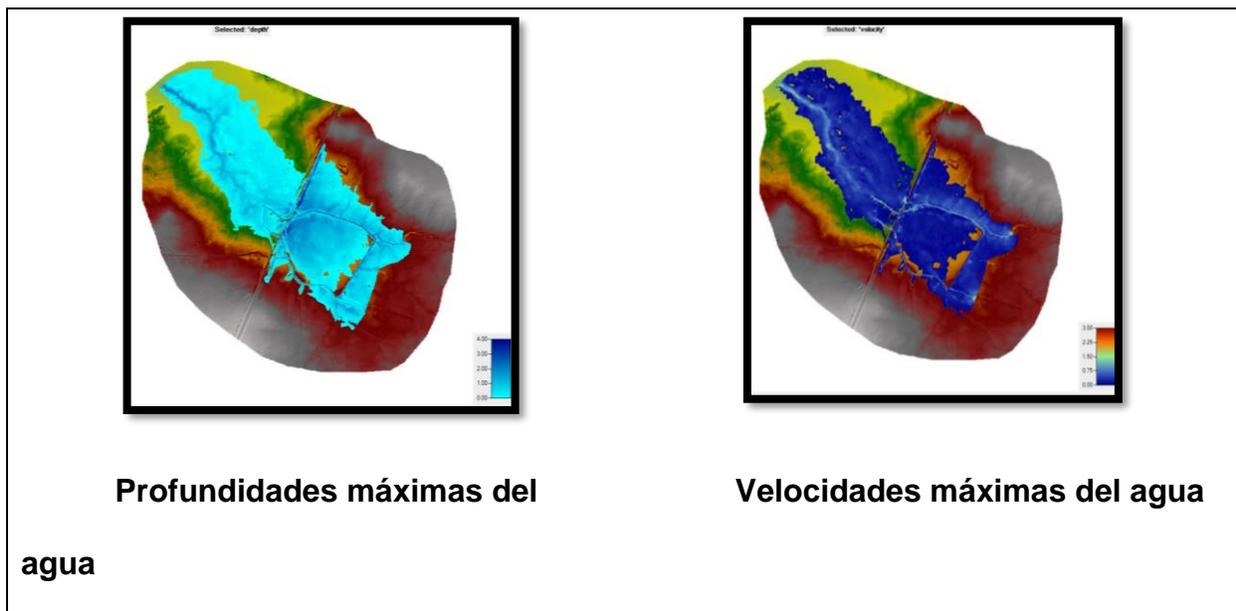


Profundidades máximas del agua	Velocidades máximas del agua
--------------------------------	------------------------------

#### 4.3.6.4. Resultados para un Periodo de retorno de 50 años

Según los resultados obtenidos en la modelación para un periodo de retorno de 50 años se obtuvo unos niveles del agua varía entre 15.90 y 25.26 msnm, la profundidad del agua se encuentran entre 0.0 y 3.76 m de altura y las velocidades máximas varían entre 0.0 y 3.87 m/s y con un promedio de 0.26 m/s.

**Figura 31 Profundidad y velocidad máxima del nivel del agua Tr 50 años.**

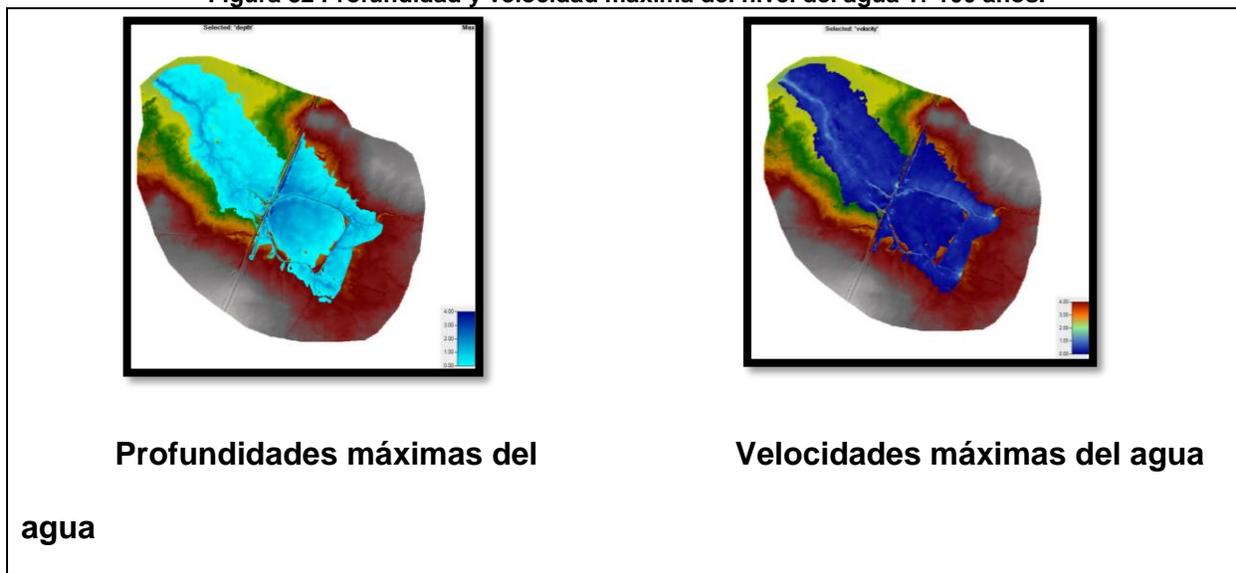


Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

#### 4.3.6.5. Resultados para un Periodo de retorno de 100 años

De acuerdo con los resultados obtenidos en la modelación para un periodo de retorno de 100 años se obtuvo unos niveles del agua varía entre 16.18 y 25.39 msnm, la profundidad del agua se encuentran entre .00 y 4.00 m de altura y las velocidades máximas varían entre 0.0 y 4.34 m/s y con un promedio de 0.29 m/s.

Figura 32 Profundidad y velocidad máxima del nivel del agua Tr 100 años.



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

#### 4.4. Análisis de la amenaza

##### 4.4.1. Revisión y selección de metodologías para la zonificación de amenaza

Inicialmente se realizó una revisión de las diferentes metodologías aplicadas a nivel nacional e internacional para la creación de un mapa de amenazas por inundaciones. Estas metodologías se dividen de acuerdo con el tipo de herramienta que se implemente para el análisis. Cuando se estima las dos componentes del riesgo (vulnerabilidad y amenaza) se conoce como completa. De lo contrario, si solo se estima una sola componente del riesgo se define como parcial. También puede ser dividida en cuantitativas o cualitativas, según si obtienen o no un valor numérico. (Escuder et al., 2010).

#### 4.4.2. Escogencia de las metodologías

Teniendo en cuenta las características mencionadas, la metodología que cumplió con estos tres requisitos correspondió a la propuesta por Escudero y sus colaboradores en 2012. Inicialmente, es una metodología que clasifica en ser parcial y cuantitativa. Seguidamente, la construcción de los niveles no corresponde a un proceso de calibración, pero están soportados con datos históricos y experimentales según estudios consultados (Témez, 1991; Reiter and RESCDAM, 2001; Nanía, 2002; Gómez y Russo, 2009). Además, los niveles de amenazas están analizados con las posibles consecuencias.

En atención a lo mencionado por el Literal 4, del Artículo 8 del Decreto 1807 de 2014 en donde se establece que, para la zonificación de la amenaza, esta se categorizará en alta, media y baja, que se establece según el método empleado, lo niveles de amenaza propuesto por (Escuder-Bueno et al., 2012), fueron ajustados con la finalidad de evitar confusiones a la hora de divulgar los resultados con la sociedad. Esta acción se llevó a cabo mediante la comparación de las metodologías expuestas en la Tabla 15 que presenta exclusivamente 3 niveles de amenaza.

**Tabla 15. Niveles de amenaza asociadas las variables hidráulicas**

Profundidad (m)	Nivel de amenaza para la profundidad	Niveles de amenaza		
$z < 0,5$	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA
$0,5 > z < 1,0$	MEDIA	MEDIA	MEDIA	ALTA
$z > 1,0$	ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA
Nivel de amenaza para la velocidad		BAJA	MEDIA	ALTA
Velocidad (m/s)		$v < 0,25$	$0,25 > v < 1$	$v > 1$

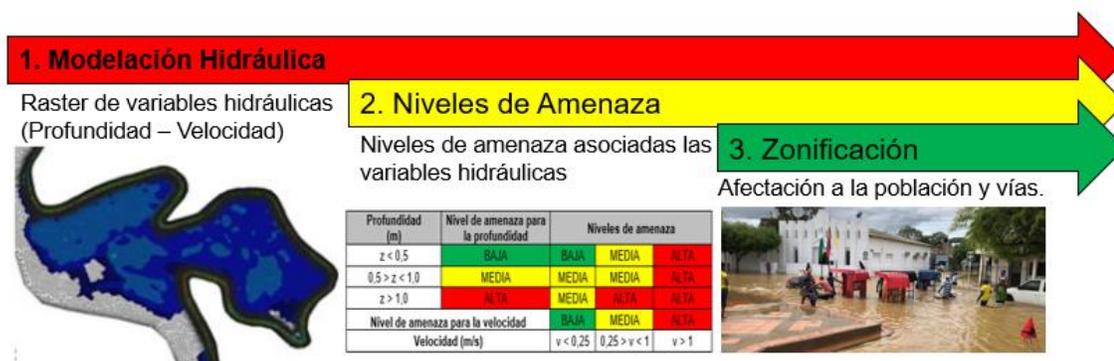
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

#### 4.4.3. Análisis de la amenaza por inundación

Teniendo seleccionada la metodología para delimitación de las amenazas, se implementó un proceso para la zonificación de los mapas de amenazas, el cual consiste en 3 pasos (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

1. A partir de las modelaciones hidráulicas con la plataforma HEC-RAS 2D se generan dos raster, los cuales contienen las magnitudes de las profundidades del flujo y las velocidades del flujo.
2. Se realiza la clasificación de la amenaza de acuerdo con las dos variables hidráulicas mencionadas anteriormente asociadas a los escenarios seleccionados.
3. Finalmente, la zonificación de los niveles de amenazas se realiza mediante la afectación a la población y estructuras como vías de acuerdo con la magnitud de las variables hidráulicas.

**Figura 33 Esquema del procedimiento para la zonificación de los niveles de amenazas**



Nota. Elaboración propia, productos de la investigación

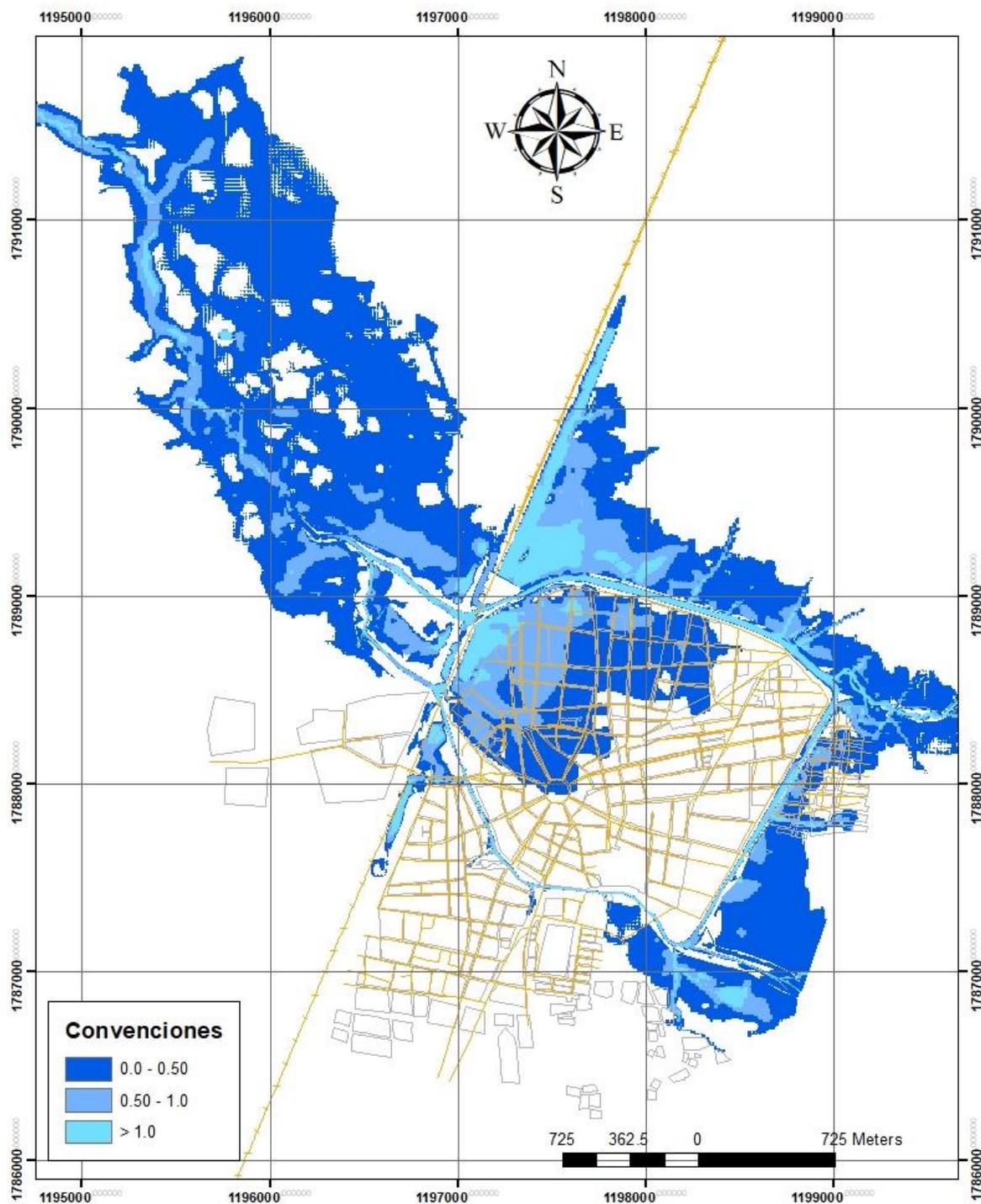
#### **4.4.4. Análisis por criterios de niveles de amenaza**

Para interpretar los niveles de amenaza se establecieron posibles consecuencias. Estas fueron basadas en investigaciones reportadas en la información metodológica consultada, teniendo cuenta daños a las infraestructuras e inestabilidad de cuerpos.

A continuación, se presentan la reclasificación para la profundidad y velocidad del agua, según los criterios establecidos para los niveles de amenaza de acuerdo con los resultados derivados de la modelación hidráulica presentados en el numeral anterior.

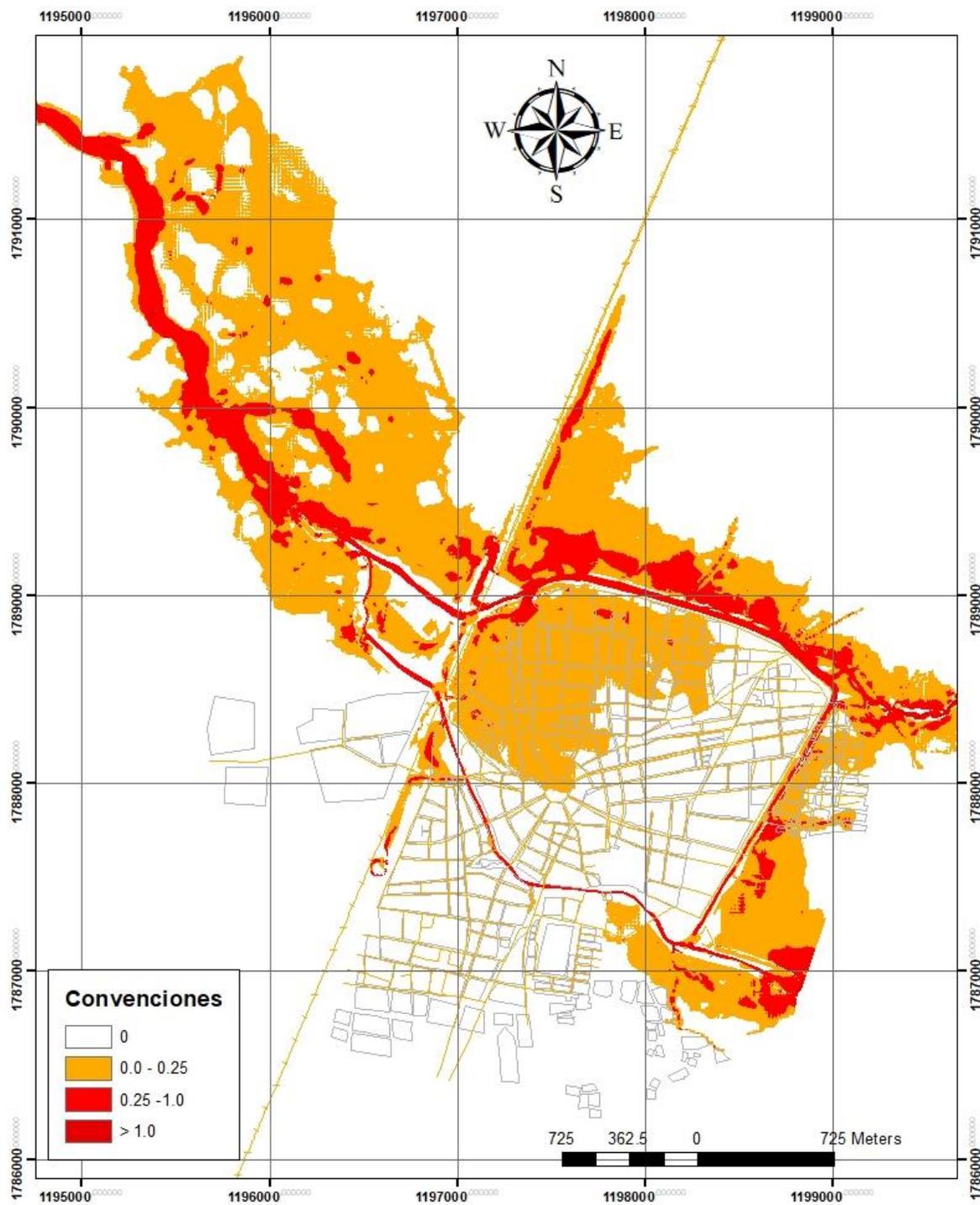
##### **4.4.4.1. Evaluación de niveles de amenaza para la modelación Tr 5 años**

**Figura 34. Resultados de modelación Tr 5 años - Profundidad máxima del flujo**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

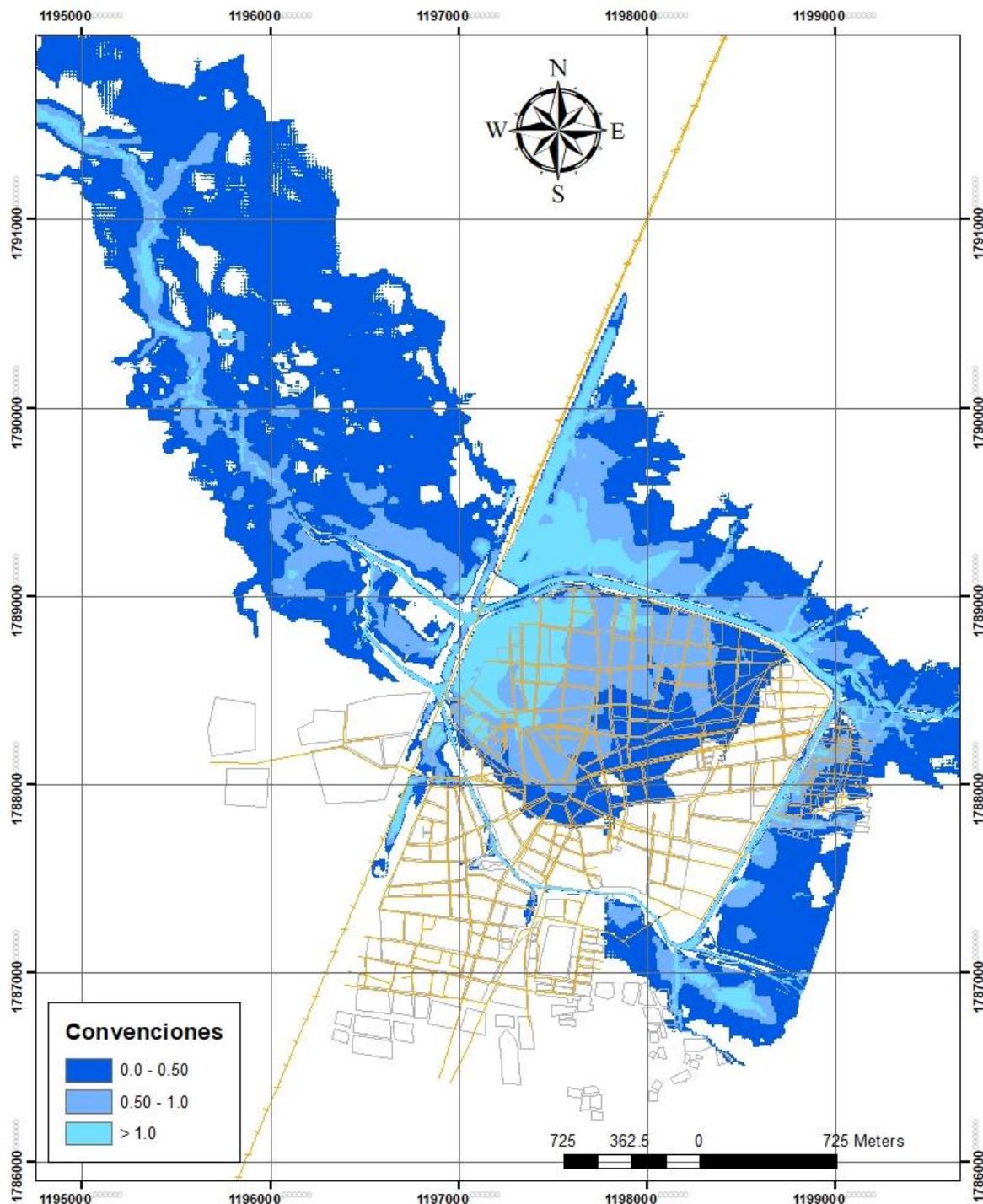
**Figura 35. Resultados de modelación Tr 5 años - Velocidades de flujo**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

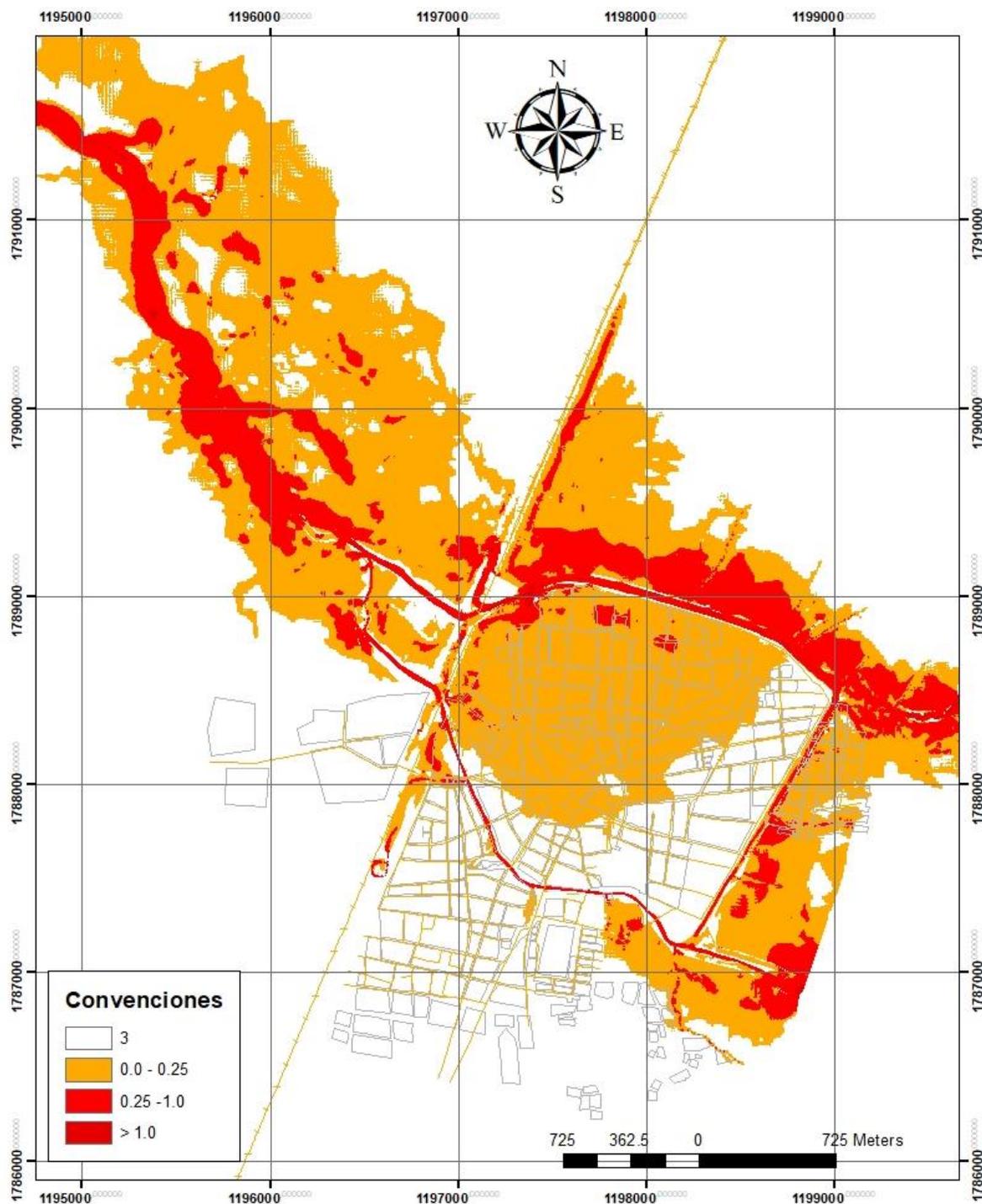
**4.4.4.2. Evaluación de niveles de amenaza para la modelación Tr 10 años**

**Figura 36. Resultados de modelación Tr 10 años - Profundidad máxima del flujo**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

**Figura 37. Resultados de modelación Tr 10 años - Velocidades de flujo**

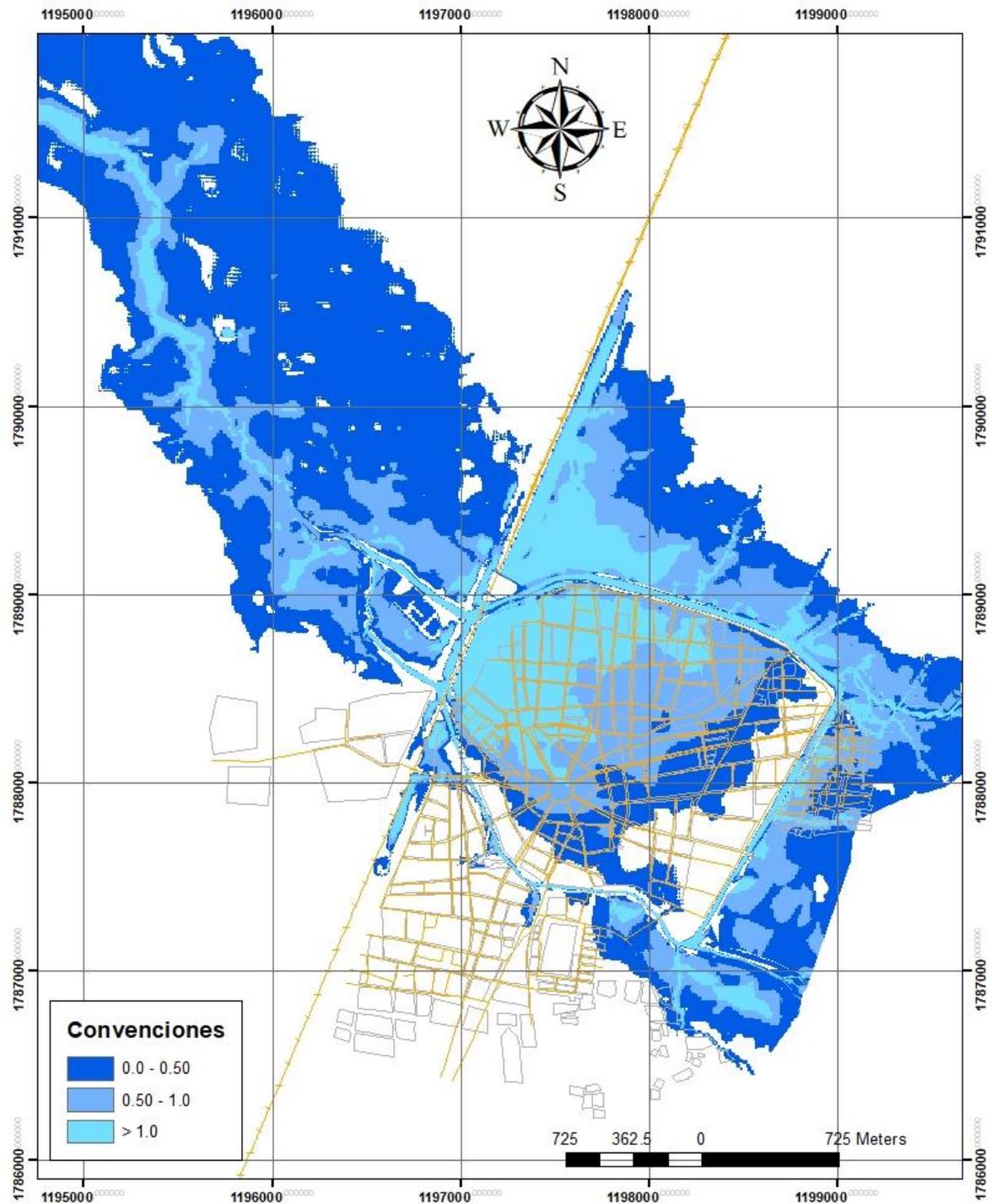


Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

#### 4.4.4.3. Evaluación de niveles de amenaza para la modelación Tr 25

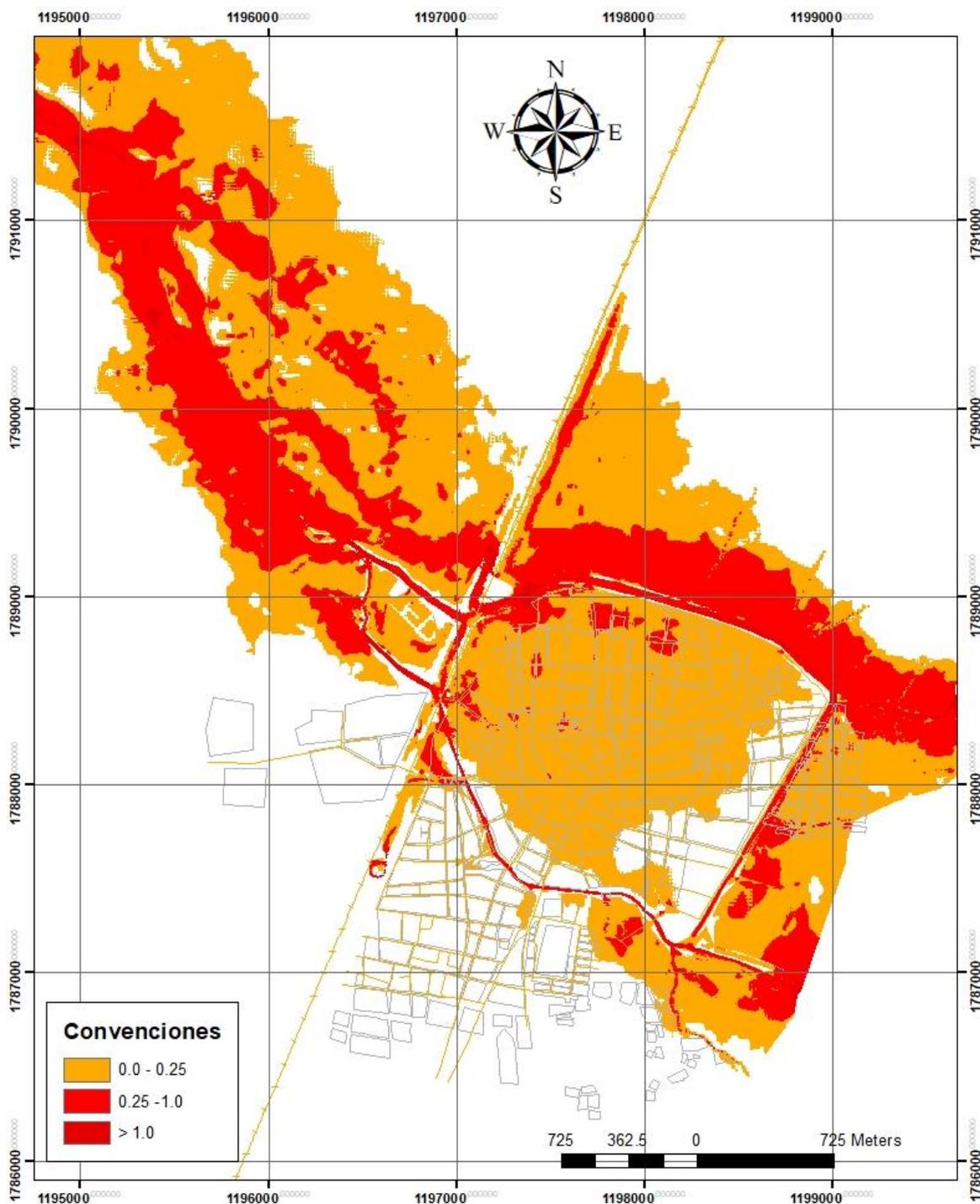
años

Figura 38. Resultados de modelación Tr 25 años - Profundidad máxima del flujo



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

**Figura 39. Resultados de modelación Tr 25 años - Velocidades de flujo**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

**4.4.4.4. Evaluación de niveles de amenaza para la modelación Tr 50 años**

**Figura 40. Resultados de modelación Tr 50 años - Profundidad máxima del flujo**

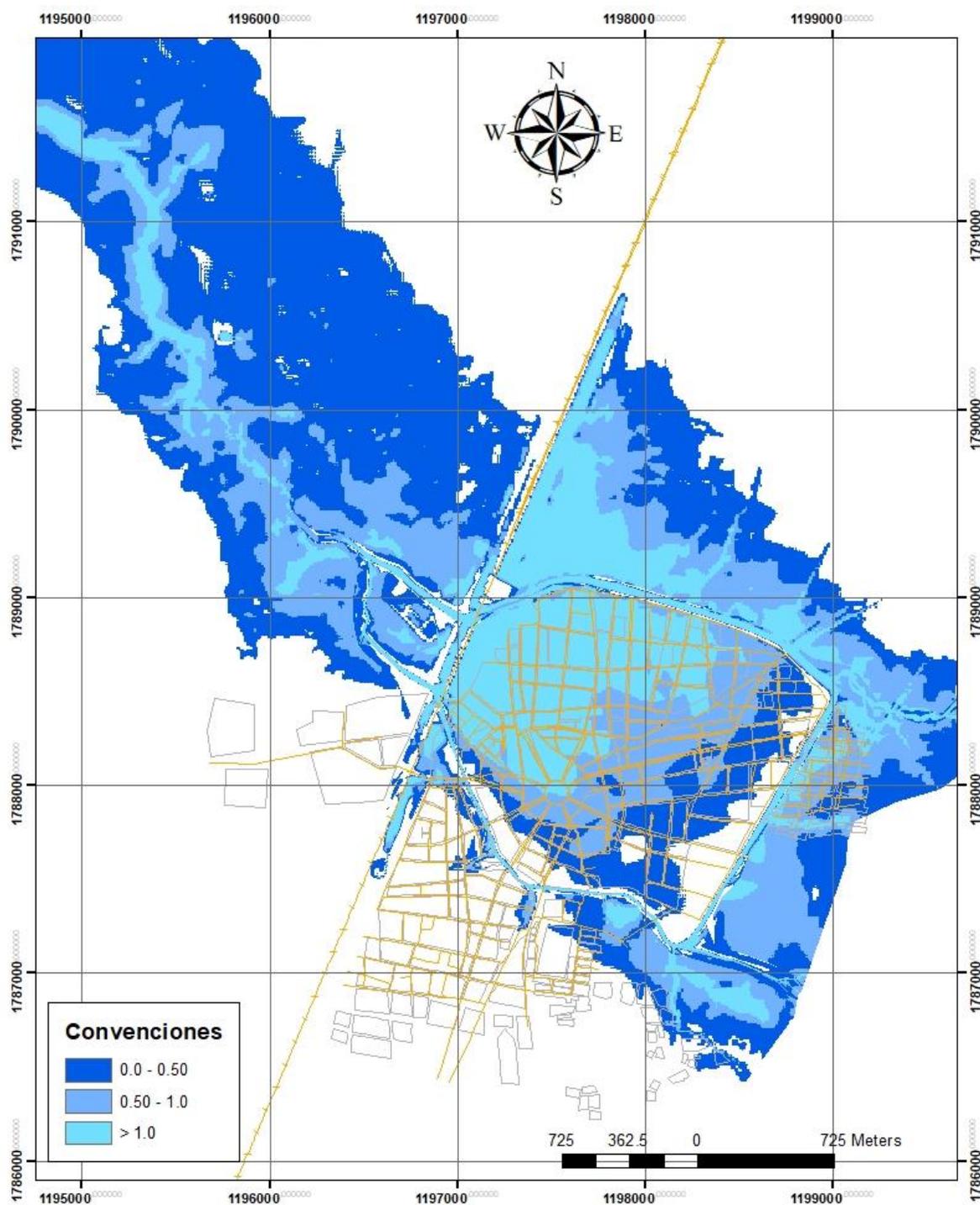
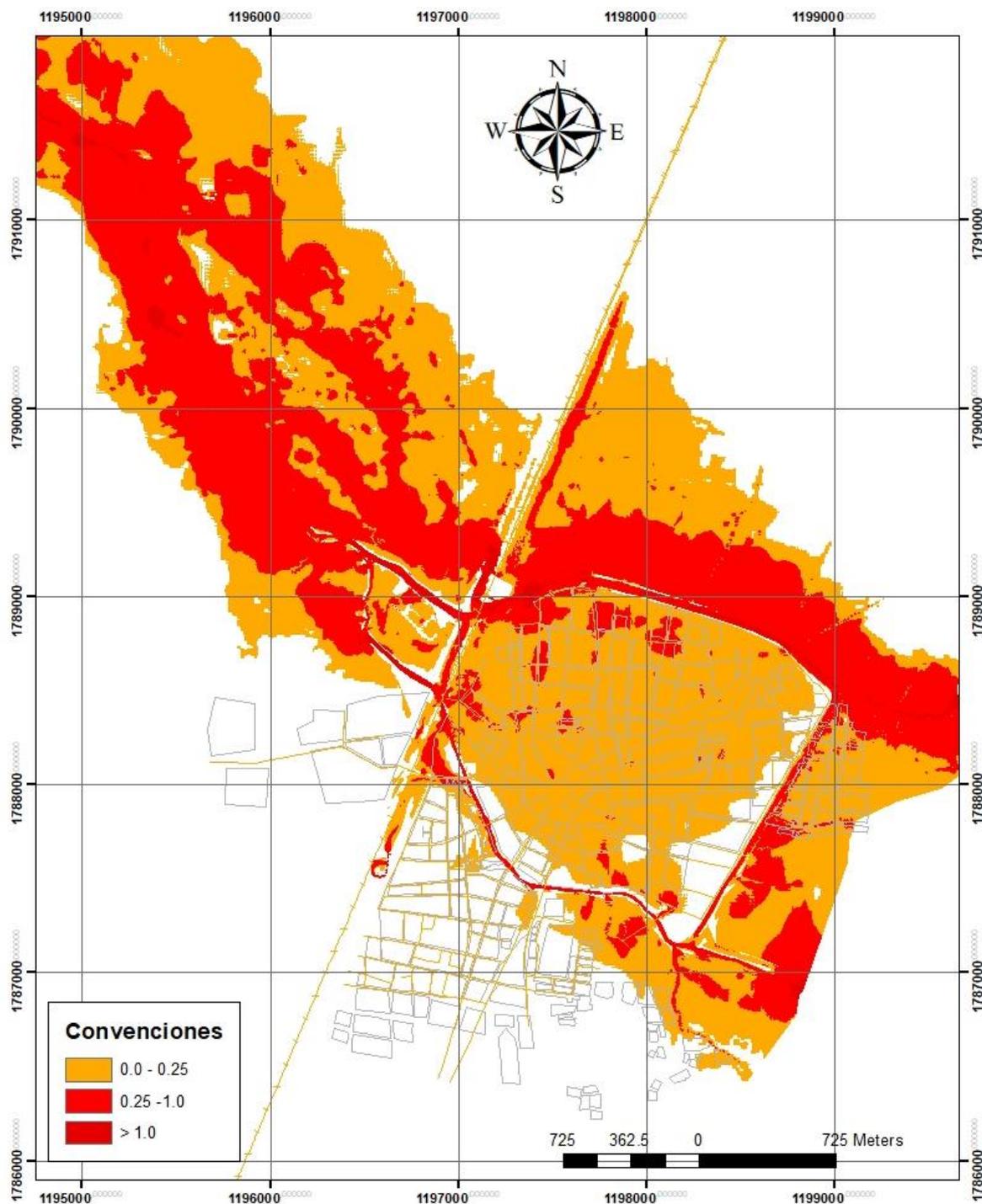


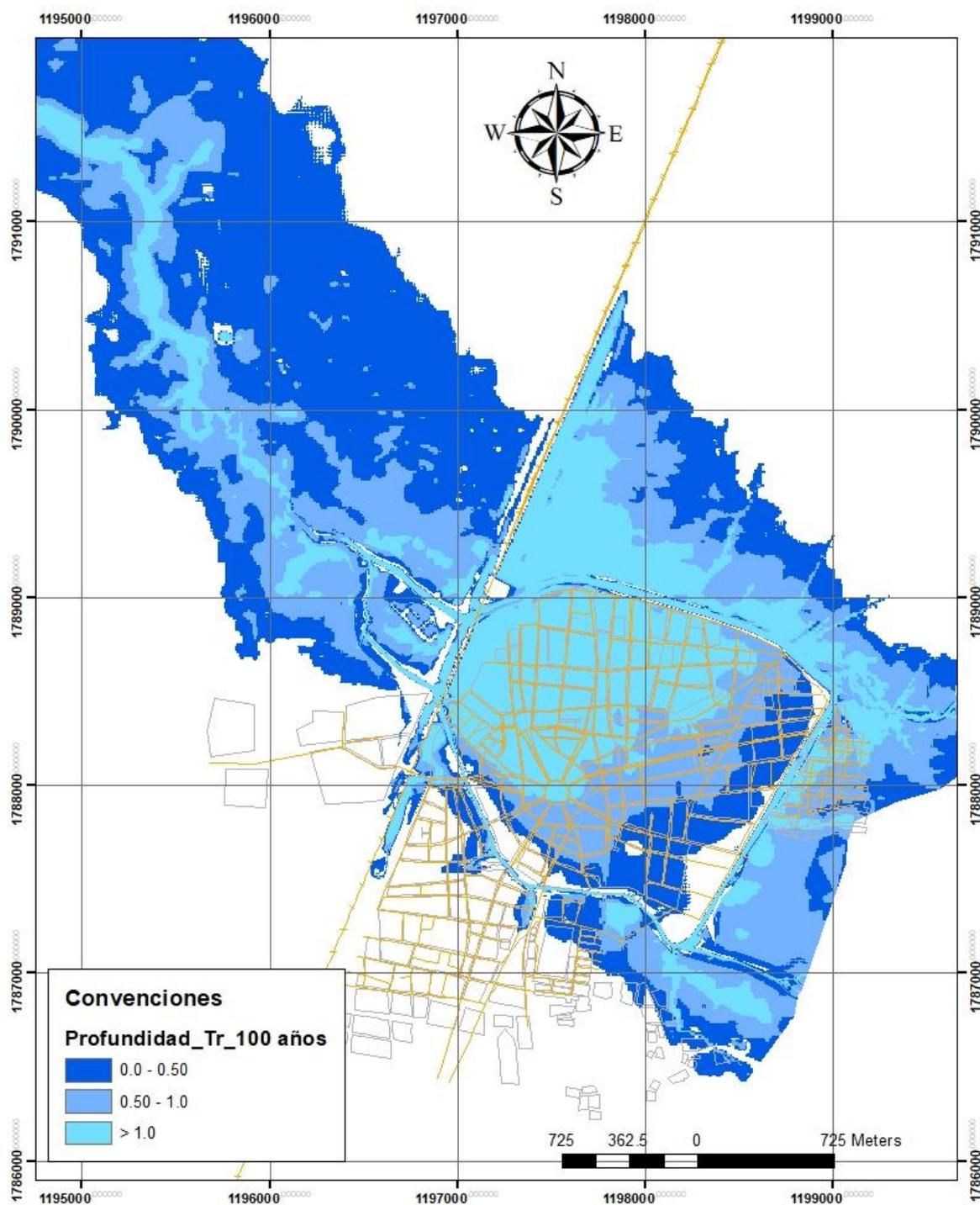
Figura 41. Resultados de modelación Tr 50 años - Velocidades de flujo



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

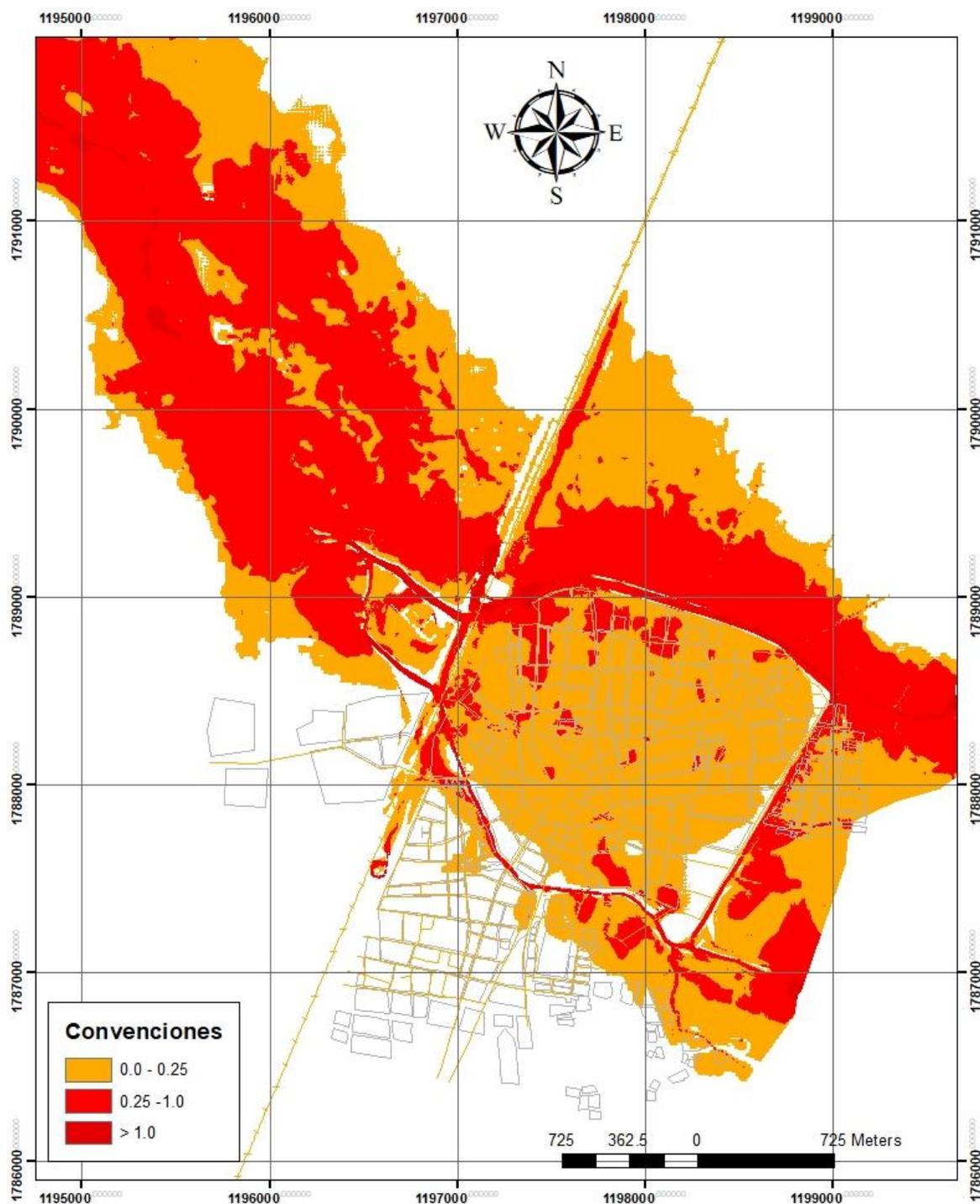
**4.4.4.5. Evaluación de niveles de amenaza para la modelación Tr 100 años**

**Figura 42. Resultados de modelación Tr 100 años - Profundidad máxima del flujo**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

**Figura 43. Resultados de modelación Tr 100 años - Velocidades de flujo**

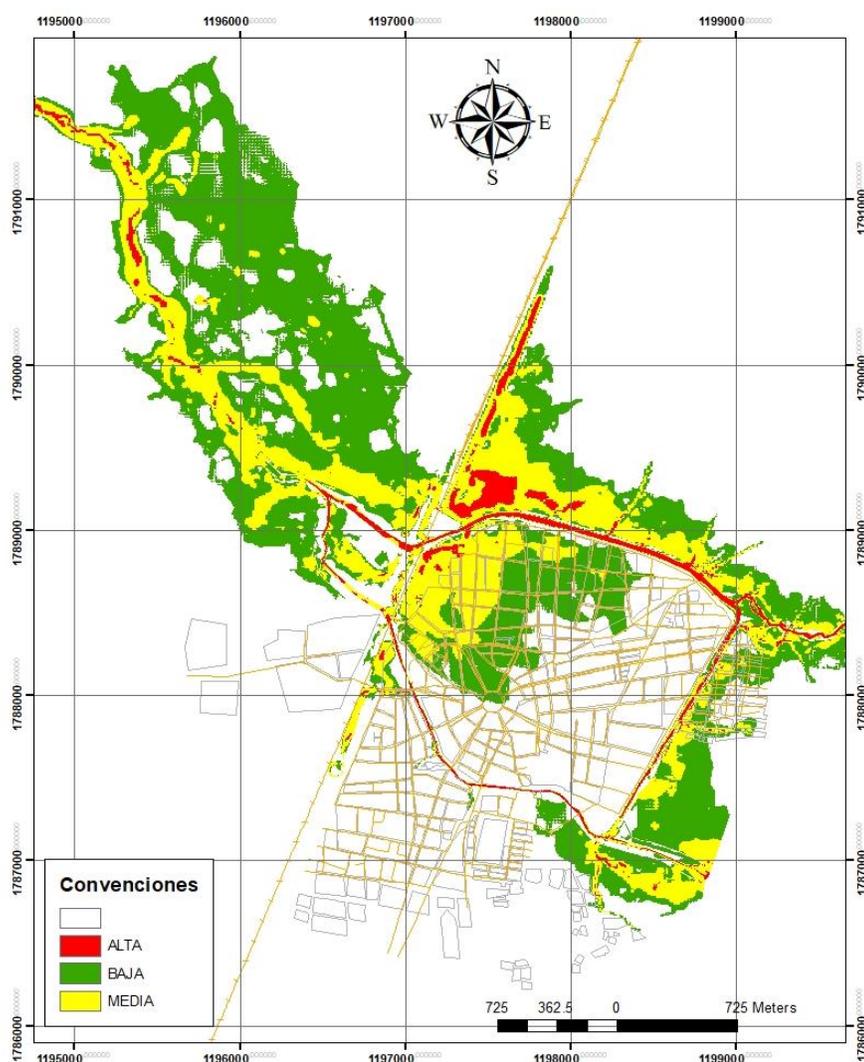


Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

#### 4.4.5. Zonificación de la amenaza de inundación por desbordamiento

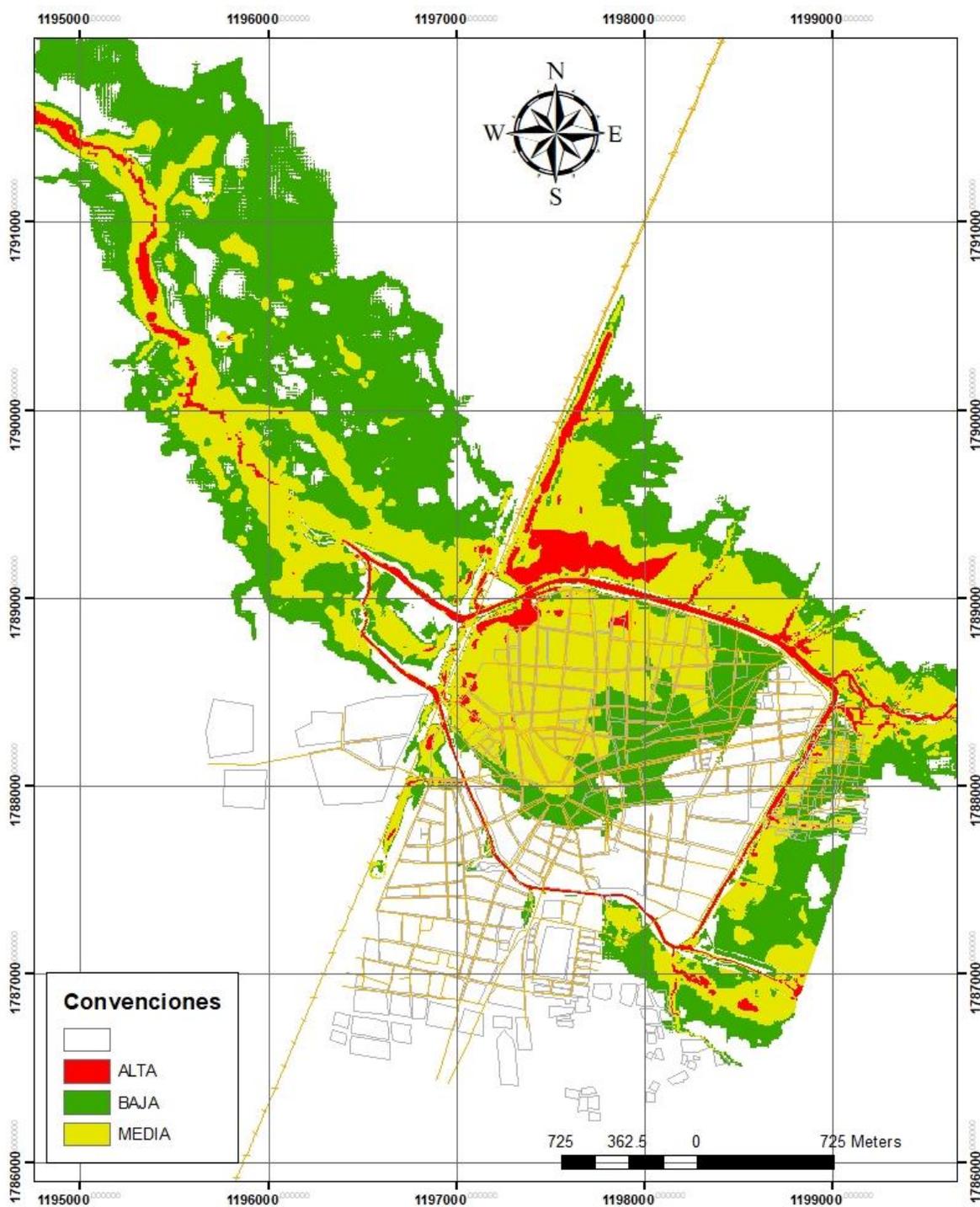
De acuerdo con los resultados de modelación presentados en este capítulo y teniendo en cuenta la metodología descrita anteriormente, se obtuvo la zonificación de amenaza para los periodos de retorno propuestos en cada una de las zonas del municipio de Uribia como se presenta en las siguientes figuras:

**Figura 44. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento para un Tr 5 años.**

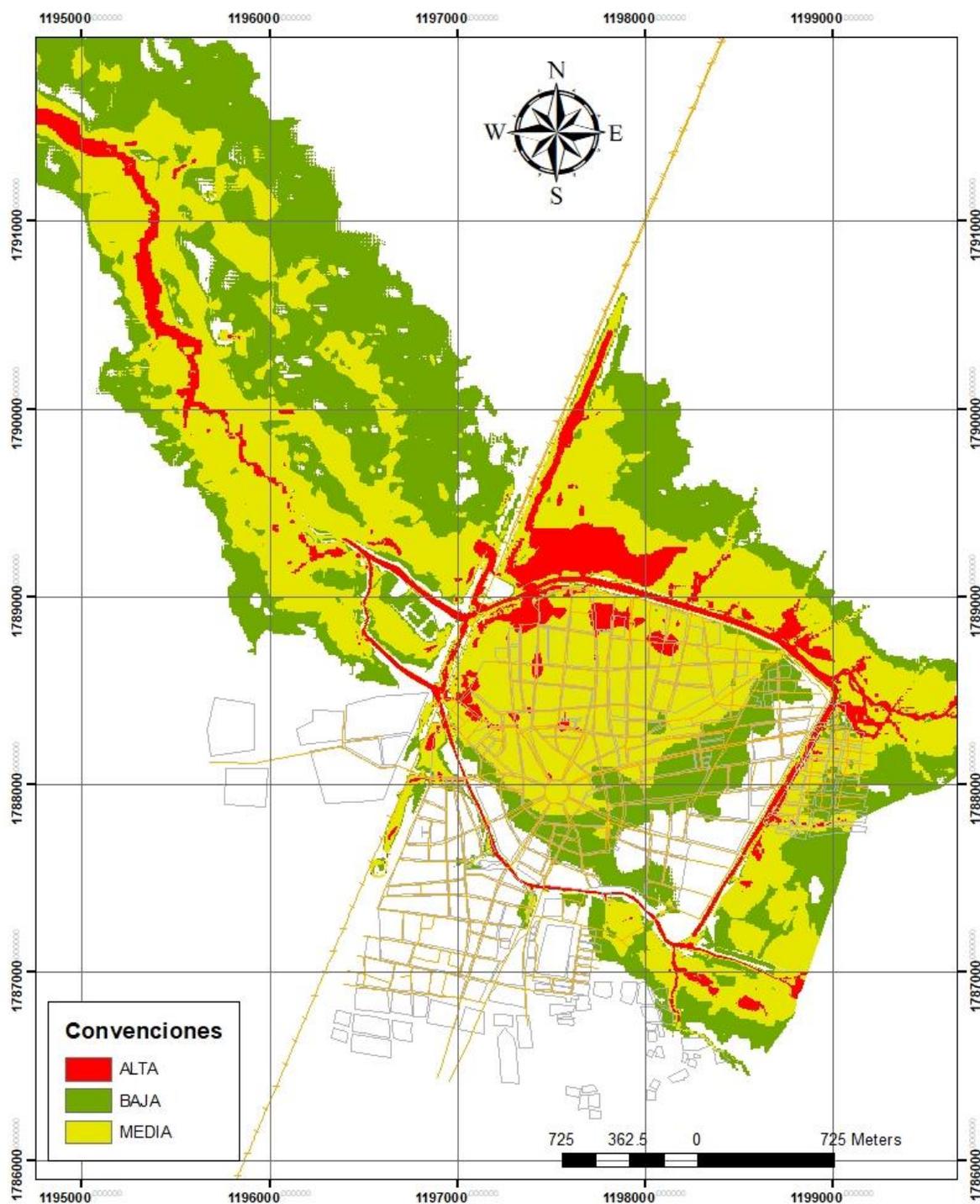


Nota. Elaboración propia, productos de la investigación

Figura 45. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento para un Tr 10 años.

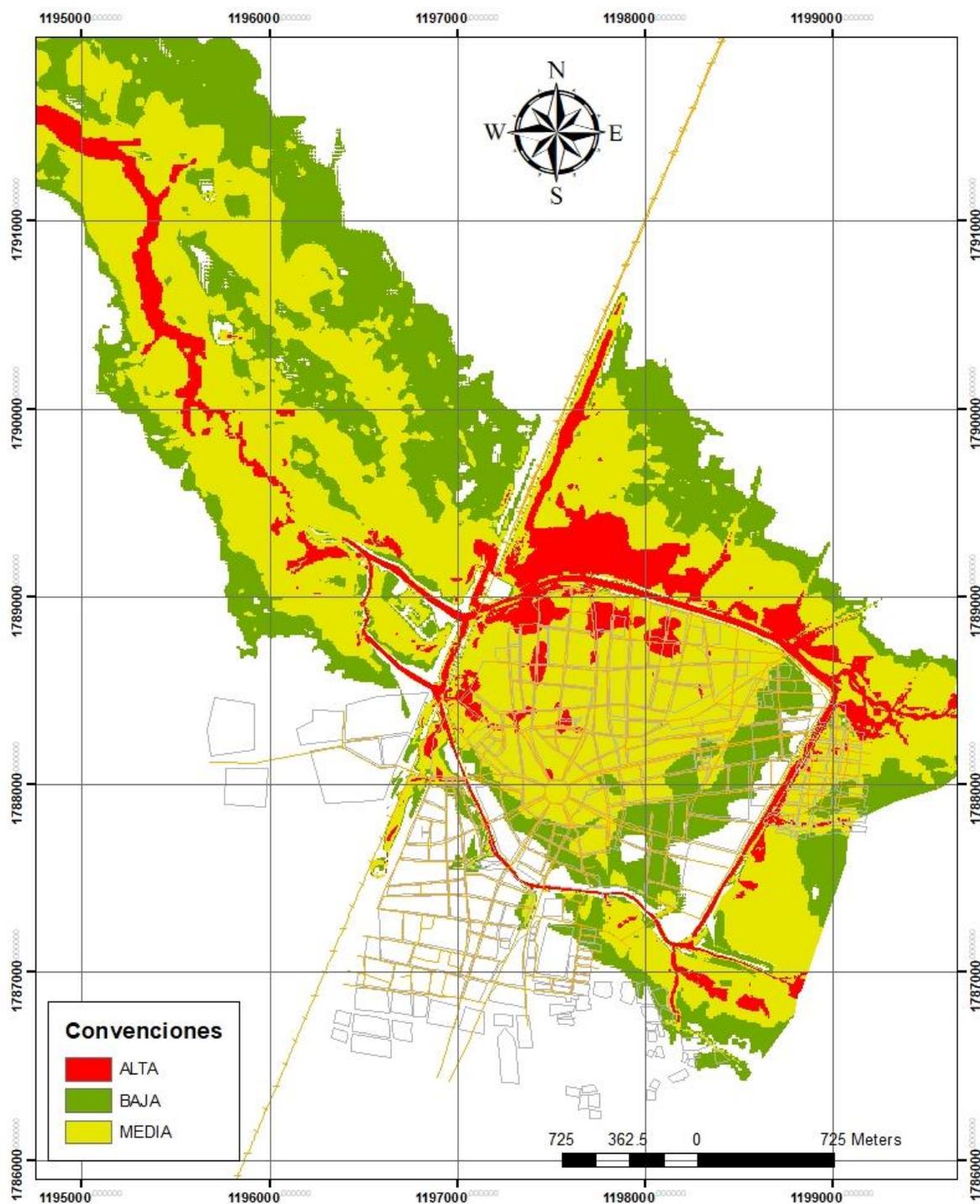


**Figura 46. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento para un Tr 25 años.**



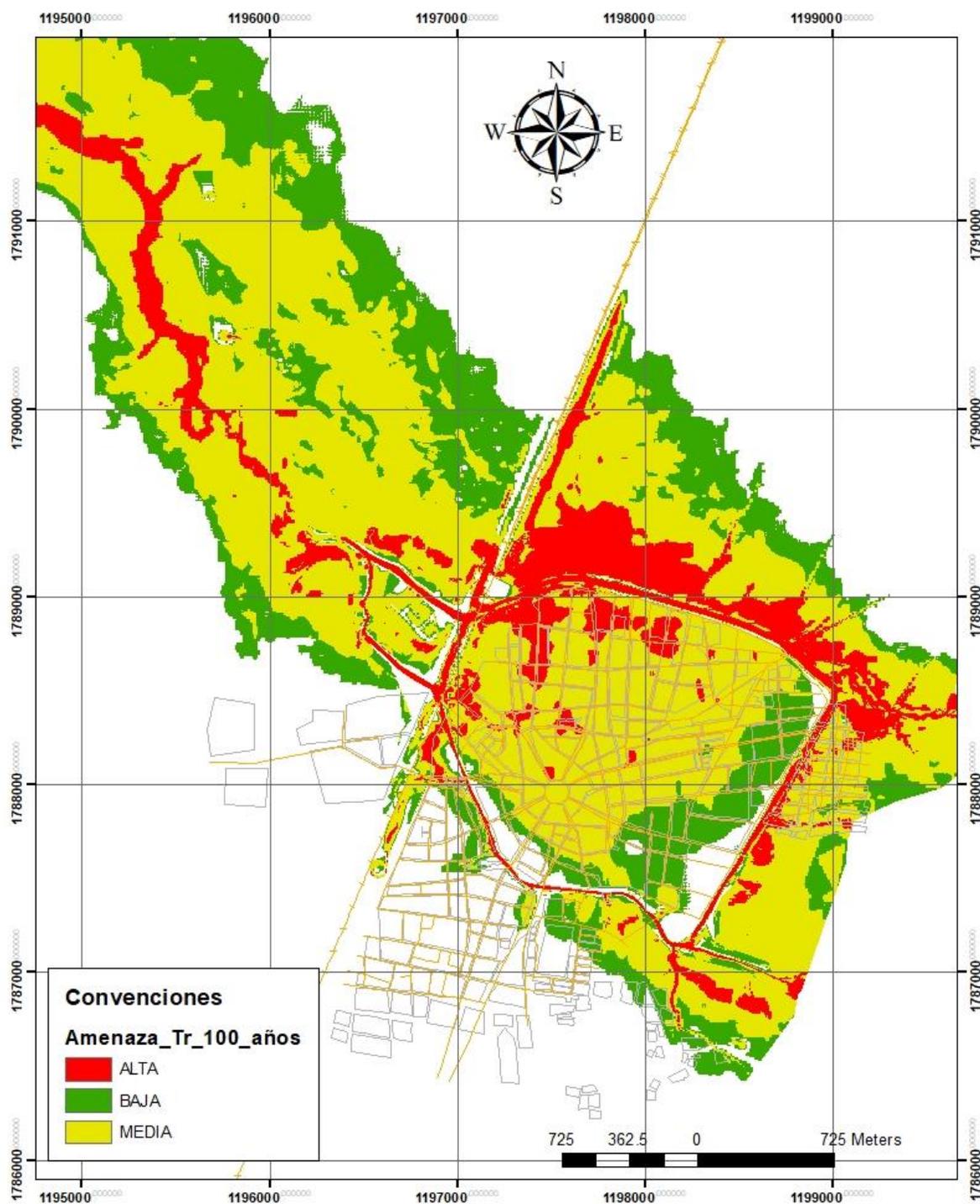
Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

**Figura 47. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento para un Tr 50 años.**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

**Figura 48. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento para un Tr 100 años.**

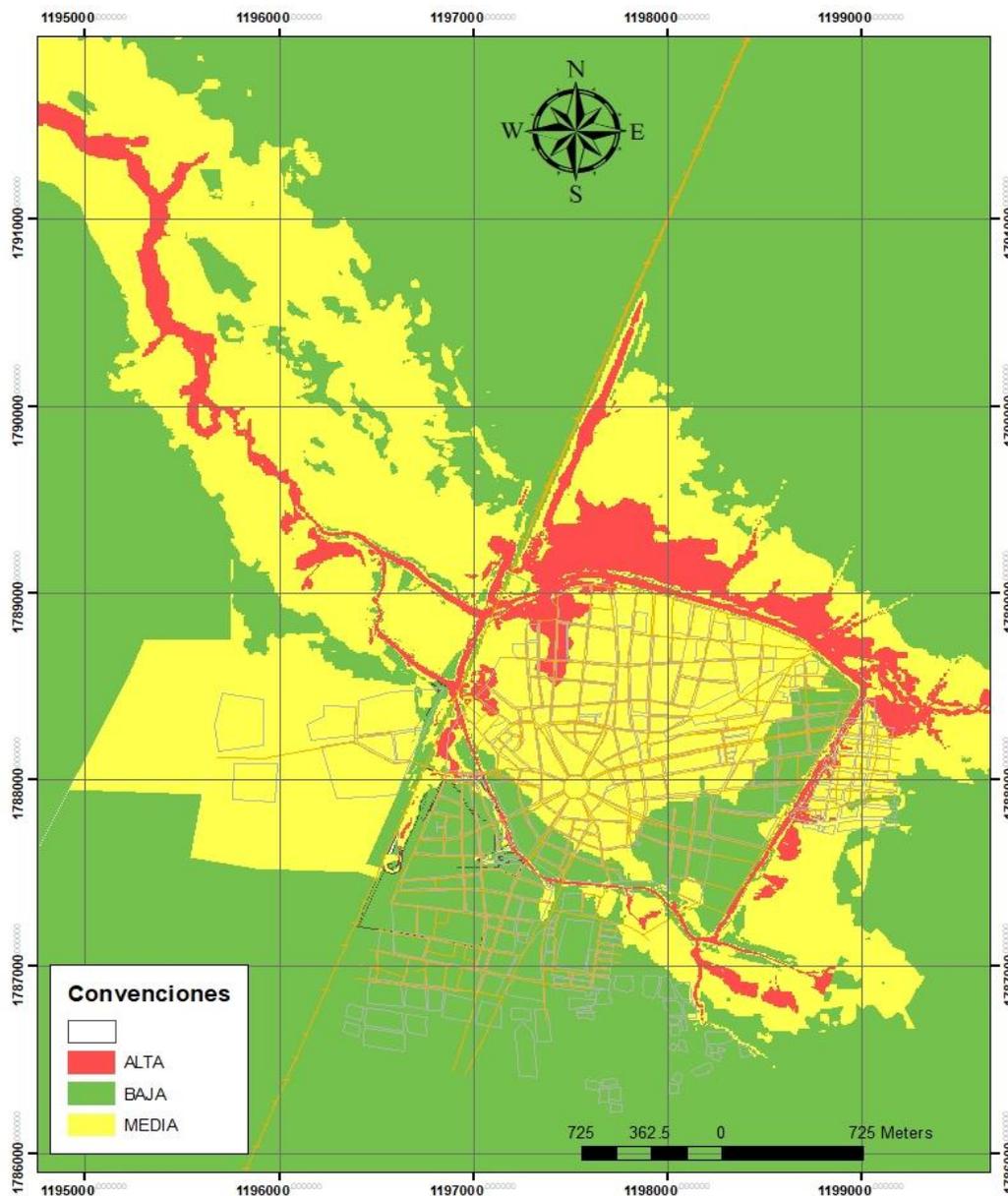


Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

#### 4.4.6. Mapa general de amenazas por inundación

Para la categorización del mapa general de amenaza en el municipio de Uribia, se seleccionó empleando métodos hidrológicos e hidráulicos, obteniendo como resultados el mapa general de amenaza de inundaciones por desbordamientos.

Figura 49. Zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

#### 4.5. Obras de mitigación

Para el caso que nos aborda se proponen algunas medidas de mitigación para la realidad y contexto social del casco urbano del municipio de Uribía.

**Tabla 16 Medidas de Mitigación ante inundaciones.**

Tipo de Medidas	Tipo de Estructura/Función	Indicaciones
Estructural	Retención	Construir un sistema de reservorios en las estribaciones de los arroyos Chemerrain y Kutanamana para disminuir el pico de inundación que recibe el casco urbano.
	Protección	Reconformación hidrogeomorfológica o adecuación hidráulica con fin de analizar la capacidad de transporte de caudal e identificar puntos de debilitamiento.
	Sistemas de Drenaje	Convencional: diseñar un sistema de drenaje pluvial capaz de evacuar caudales asociados eventos con extremos climáticos. Sistemas de Drenajes Sostenibles (SUDS): con el fin de implementar el enfoque de ciudades resilientes propender de diseñar y construir áreas de bioretención, estructuras de retención subterráneas, pavimentos permeables y otros que sean acordes con las dinámica espacial y estructural de Uribia
	Arquitectónico	Diseñar y construir viviendas palafíticas acorde con usos, costumbres y enfoque diferenciado para comunidades indígenas.
No Estructural	Protección Financiera	Implementar estudios que permitan considerar la conveniencia de adquirir seguros por impactos de desastres naturales.
	Acotamiento de Rondas Hídrica	Definir las rondas hídricas de los arroyos Chemerrain y Kutanamana para definir zonas de protección urbanas.
	Restricción y Usos del Suelo	La alcaldía del municipio de Uribia debe velar por el respeto y aplicación del aparato normativo vigente (POT y normas nacionales) para evitar el asentamiento en zonas de riesgo alto y de protección.
	Tecnológico	Implementar un Sistema de Alerta Temprana con influencia en el casco urbano del municipio y en el área de influencia de los arroyos Chemerrain y Kutanamana.
	Socio - Ambiental	Fortalecer los medios de comunicación y organizaciones sociales (JAC, Ediles, líderes sociales) en mecanismo de respuestas a emergencia con enfoque comunitario. Implementar mecanismos de participación social que permitan sensibilizar y concientizar a la comunidad en

Tipo de Medidas	Tipo de Estructura/Función	Indicaciones
		general, con el acompañamiento institucional, sobre el uso, manejo y disposición de residuos sólidos.

Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

#### 4.6. Análisis de resultados

En el análisis de los datos se aplicaron pruebas a la estación de precipitación ubicadas en la zona de interés para el proyecto, las cuales fueron: para cambio en la media prueba T simple (Lettenmaier, 1976b); para cambio en la varianza prueba F simple (Devore, 1982) (Lettenmaier, 1976a); para tendencia de la serie prueba T (Salas, 1992), obteniendo como resultado que las estaciones presentan cambio en la media y la varianza. Además, se pudo verificar la relación entre el índice del ONI y la precipitación. Adicionalmente, de acuerdo con el análisis de tendencia aplicado a las estaciones no es pertinente realizar un análisis de no estacionalidad a las series de precipitación para el análisis de eventos extremos, ya sean mínimos o máximos, teniendo en cuenta que estas series son estacionarias, según la prueba T de tendencia en la media.

De acuerdo con los resultados obtenidos para los caudales máximos para los arroyos Chemerrain y Kutanamana, localizados en el municipio de Uribia, los cuales arrojaron los siguientes resultados:

Cuenca	Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s)				
	Tr 100 años	Tr 50 años	Tr 25 años	Tr 10 años	Tr 5 años
Arroyo Chemerrain	215.92	172.28	131.49	82.54	49.94
Arroyo Kutanamana	138.46	110.42	84.27	53.12	32.24

Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion

Teniendo en cuenta lo anterior, la cuenca del Arroyo Chemerrain registra el mayor caudal con respecto al arroyo Kutanamana para un periodo de retorno de 100 años por ejemplo de 215.92 m<sup>3</sup>/s a 138.46 m<sup>3</sup>/s respectivamente, es importante resaltar que la cuenca posee un área de 250.60 km<sup>2</sup> y el arroyo Kutanamana tiene un área de 122.71 km<sup>2</sup>.

De acuerdo con la modelación hidráulica realizada en el Casco Urbano del Municipio de Uribía, se pudo diagnosticar en el cálculo hidráulico, que los puentes en sus condiciones actuales, se está creando un remanso por la contracción de la sección transversal de los puentes. En las siguientes fotografías se puede apreciar el estado actual y su sección transversal.

**Figura 50 Estructura sobre el Arroyo de Kutanamana.**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

**Figura 51 Estructura sobre el Arroyo de Kutanamana.**

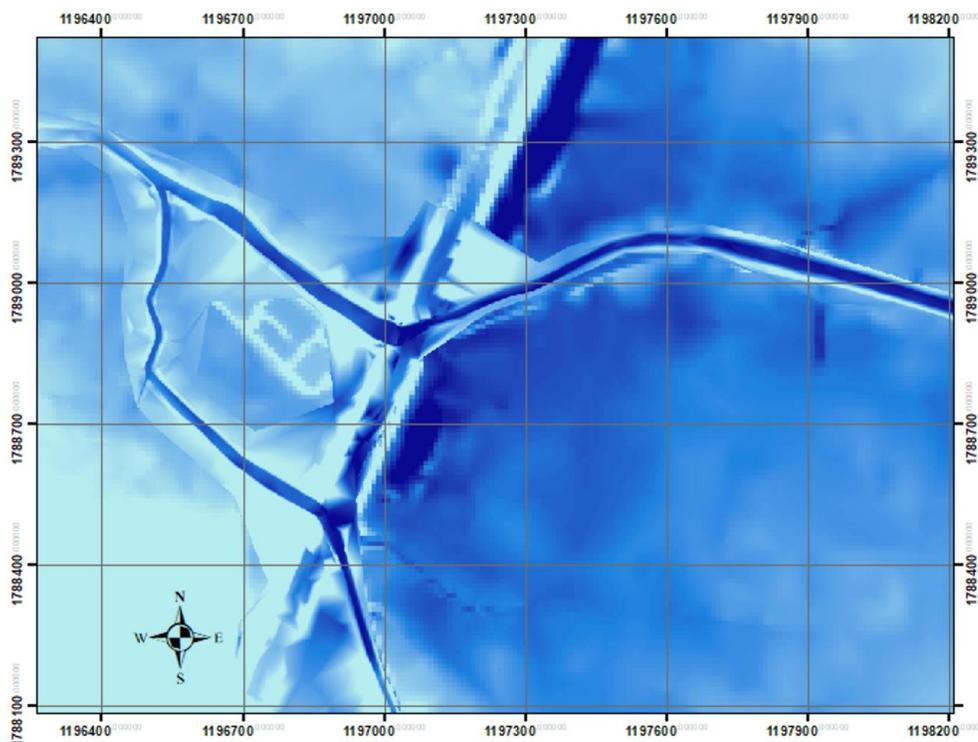


Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

Esto está produciendo cambios en los niveles del agua, velocidades y demás características hidráulicas y geométricas del flujo y del cauce y se requiere realizar un estudio completo de la resistencia hidráulica producidas por los puentes, con el fin de determinar las nuevas dimensiones que puede poseer el puente que se requiere construir en este sitio.

En la Figura 52 se puede apreciar las mayores profundidades de las láminas de agua producidas (colores azules más oscuros) para evento con periodos de retorno de 100 años, el cual, es evidente la falta de capacidad de los puentes existentes, sobre la vía, produciendo el remanso hacia la zona urbana del municipio de Uribí, por lo tanto, se recomienda reemplazar la estructura existente por un puente nuevo donde aumente esta capacidad hidráulica y se pueda evitar este obstáculo a los arroyos para su evacuación.

**Figura 52. Profundidades para un periodo de retorno de 100 años**



Nota. Elaboracion propia, productos de la investigacion.

Es importante resaltar, que el período más crítico durante el cual se ponen a prueba la resistencia y la estabilidad de todos los elementos del cruce contra la acción del flujo corresponde al paso de crecientes con períodos de retornos altos, es decir, crecientes con probabilidades de excedencia bajas.

Adicionalmente, en el Manual de Drenaje se establece que los puentes deben ser diseñados de tal manera que su localización sea normal a la corriente, que ofrezcan la menor resistencia al flujo y que tenga una gran capacidad, por lo tanto, se debe solicitar al representante del Cerrejón realizar estudios hidrológicos, hidráulicos, topográfica y/o batimétrica, con el fin de realizar modelaciones para determinar si se presentan remansos hacia aguas arriba y así poder calcular una altura del galibo que

garantice la capacidad hidráulica del mismo. Además de los análisis mencionados se deben hacer estudios de suelos y socavación.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

El presente producto contiene los resultados de la modelación hidrodinámica 2D y de la zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento en el municipio de Uribia en el departamento de La Guajira, en el cual se desarrollaron análisis con el fin de estimar las crecientes máximas con distintos períodos de retorno, que son el insumo para la modelación hidráulica y su posterior zonificación de la amenaza por inundaciones.

Con respecto a las simulaciones hidrodinámicas se modelaron las zonas de los arroyos Chemerrain y Kutanamana, localizados en el municipio de Uribia, para cada uno de los periodos de retorno encontrados en el modelo hidrológico, donde se puede apreciar las manchas de inundación de un 90% del municipio, el cual la capacidad hidráulica de los arroyos es deficiente y requieren obras de adecuación hidráulica para mitigar los desbordamientos que ocurren en los diferentes periodos de lluvia.

De acuerdo con la modelación hidráulica se identificaron varios sitios críticos en los cuales los arroyos se desbordan, por lo tanto, se recomienda proponer obras de mitigación con el fin de minimizar la inundación producida en los barrios colindantes al cuerpo de agua.

Se recomienda instalar estaciones hidrológicas de registro automático de niveles e implementar programas de toma de sedimentos en suspensión en los cauces de los arroyos que cruzan el municipio de Uribia, con el fin de validar los modelos hidrológicos a futuro.

Se recomienda monitorear las variaciones del fondo de los cauces de los arroyos. Para ello se recomienda llevar un seguimiento ordenado de los cambios del

lecho de los arroyos a través del tiempo por medio de un levantamiento topográfico de lugares específicos de control.

## Bibliografía

Alcaldía de Uribe - La Guajira. (s.f.). Mi Municipio. Recuperado el 16 de junio de 2022, de <https://www.urbia-laguajira.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

Arias López, J. S., & Correa Ospino, J. D. (2020). CATEGORIZACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BELTRÁN-CUNDINAMARCA. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Barrantes Castillo, G., & Vargas Bogantes, J. (2011). La zonificación de amenaza por inundación como herramienta para el ordenamiento territorial en el valle del río Saixaola.

Bolívar Fandiño, J. A., Pineda Toro, D. M., & Salcedo Herrera, I. G. (2019). Análisis de riesgo por inundación frente a escenarios de cambio climático a partir de la modelación hidrodinámica y de calidad de agua en IBER - 2D de un tramo de la microcuenca Quebrada Resaca - Palestina del barrio Duitama, Usme. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Recuperado el 17 de 06 de 2022, de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2194&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2194&context=ing_ambiental_sanitaria)

Cartaya, S., & Mantuano, R. (2016). Identificación de zonas en riesgo de inundación mediante la simulación hidráulica en un segmento del Río Pescadillo, Manabí, Ecuador. Revista de Investigación, 40(89), 158-170. Recuperado el 17 de 06 de 2022, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376156280009>

- Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2000). Hidrología Aplicada. Bogotá: McGRAW-HILL. Recuperado el 26 de 09 de 2021
- Google. (29 de marzo de 2022). Google Earth Pro.
- Hernández, J., & Vieryra, A. (2010). Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad mexicana. ¿El desastre nace o se hace? Morelia, México.
- Hurtado, C., & Euscátegui, G. (2011). ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL FENÓMENO “LA NIÑA” 2010-2011 EN LA HIDROCLIMATOLOGÍA DEL PAÍS.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2021). Modelación Hidrológica. Obtenido de Bogotá D.C.: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>
- Martínez González, D. G., & Castrillón Cruz, D. A. (2014). ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INUNDACIONES EN LAS ZONAS URBANA Y DE EXPANSIÓN DEL MUNICIPIO DE JAMUNDÍ (VALLE DEL CAUCA). Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Monsalve Sáenz, G. (1999). Hidrología en la Ingeniería (Segunda ed.). Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Palma Estrada, C. A. (2015). METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE NIVELES DE ALERTA PARA EVENTOS DE INUNDACIÓN A PARTIR DE ANALISIS DEL RIESGO HIDROLOGICO Y RIESGO HIDRAULICO. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte.
- Rentschler, J., & Salhab, M. (2020). People in Harm's Way: Flood Exposure and Poverty in 189 Countries.

- Rentschler, J., Salhab, M., & Arga, B. (2022). Flood exposure and poverty in 188 countries. *Nature Communications*, 13(3527). Obtenido de Flood exposure and poverty in 188 countries: <https://www.tiempo.com/ram/casi-1-de-cada-4-personas-a-nivel-mundial-esta-en-riesgo-de-inundaciones.html>
- Rivera Torres, L., Solís, H., Jiménez, F., & Faustino, J. (2002). Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en la microcuenca La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente*.
- Rodríguez Díaz, H. E., & Silva Calixto, K. Y. (2018). Delimitación y zonificación de riesgo por inundación a escala 1:25000 para la zona rural y 1:5000 para la zona urbana del municipio de Moniquirá – Boyacá.
- Rodríguez, E., & Calixto, K. S. (2018). Delimitación y zonificación de riesgo por inundación a escala 1:25000 para la zona rural y 1:5000 para la zona urbana del municipio de Moniquirá – Boyacá. Boyacá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2508>
- Rojas Parra, H. M., & Jiménez Rivera, K. J. (2021). PRONÓSTICO DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE ÚTICA (CUNDINAMARCA) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN LA CUENCA QUEBRADA NEGRA Y RÍO NEGRO. Bogotá, Colombia: UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES.
- Ruiz Hernández, A. F., & Hernández Sibaja, G. C. (2021). MODELACIÓN HIDRODINÁMICA PARA ESTIMAR ESCENARIOS DE INUNDACIÓN BAJO

DIFERENTES REGÍMENES DE PRECIPITACIÓN APLICACIÓN AL RÍO SINÚ,  
TRAMO MONTERÍA. Montería, Córdoba: Universidad de Córdoba.

Salas Salinas, M. A. (2014). CUADERNO DE INVESTIGACIÓN OBRAS DE  
PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES.

Sedano Cruz, R. K. (2012). GESTIÓN INTEGRADA DEL RIESGO DE INUNDACIONES  
EN COLOMBIA. Universidad Politécnica de Valencia.

Sevillano Rodríguez, M. E. (2020). Zonificación de la amenaza ante  
inundaciones a partir de un método de evaluación multicriterio en la ciudad de Santiago  
de Cali, Colombia. Cali, Colombia.

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, SENESCYT Ecuador & Universidad  
Pedagógica Experimental Libertador. (2016). Identificación de zonas en riesgo de  
inundación mediante la simulación hidráulica en un segmento del Río Pescadillo,  
Manabí, Ecuador. 17 de 06 de 2022

US Army Corps of Engineers. (2021). HEC-RAS River Analysis System.

Vélez Otálvaro, M. V. (1997). HIDROLOGIA DE ANTIOQUIA.

Weather Spark. (31 de diciembre de 2016). El clima y el tiempo promedio en  
todo el año en Uribia. Recuperado el 16 de junio de 2022, de  
<https://es.weatherspark.com/y/25355/Clima-promedio-en-Uribia-Colombia-durante-todo->



Universidad<sup>®</sup>  
Católica  
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia  
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad  
*Dominicas de La Presentación*  
de la Santísima Virgen

*Universidad Católica de Manizales*  
Carrera 23 # 60-63 Av. Santander / Manizales - Colombia  
PBX (6)8 93 30 50 - [www.ucm.edu.co](http://www.ucm.edu.co)