



Identificación de zonas de riesgo por inundación mediante un modelo hidrológico y uso de herramientas SIG en un segmento de la región de La Mojana, Colombia

Daniela Angulo Herrera

11792227835

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2023

Identificación de zonas de riesgo por inundación mediante un modelo hidrológico y uso de herramientas SIG en un segmento de la región de La Mojana, Colombia

Daniela Angulo Herrera

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director (a):
Andrés Felipe Carvajal Vanegas

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

Año

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Contenido

1. Introducción.....	9
2. Objetivos.....	11
2.1 Objetivo General.....	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3. Marco Teórico y Estado del Conocimiento	12
4. Metodología.....	19
4.1 Descripción del área de estudio	20
5. Resultados y discusión	24
6. Conclusiones.....	34
7. Referencias bibliográficas	36

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de riesgo de inundación Fuente: IDEAM, 2013	14
Figura 2. Peligro, vulnerabilidad y riesgo de desastre Fuente: Calvo J, 2022.....	15
Figura 3. Simulación de riesgo de inundación del consejo del distrito de Whangarei. Fuente: Auliagisni, 2022	16
Figura 4. Ejemplo de mapa completo de inundación en Bangladesh. Fuente: Uddin et al., 2019	18
Figura 5. Metodología	19
Figura 6. La Mojana, Colombia. Fuente: Propia	20
Figura 7. Red Hidrográfica de La Mojana Fuente: Marrugo-Negrete J et al., 2018	21
Figura 8. Riesgo de inundación fluvial en la región de La Mojana Fuente: Instituto de Recursos Mundiales.....	23
Figura 9. Riesgo de inundación costera en la región de La Mojana Fuente: Instituto de Recursos Mundiales.....	23
Figura 10. Clasificación de rugosidades.....	24
Figura 11. Método de Gumbel.....	25
Figura 12. Implementación del método de Gumbel	26
Figura 13. Región de La Mojana	27
Figura 14. Gráfica de caudales promedio durante el año 2020 Fuente: Propia.....	28
Figura 15. Gráfica de caudales promedio durante el año 2021 Fuente: Propia.....	28
Figura 16. Gráfica de caudales promedio durante el año 2022 Fuente: Propia.....	29
Figura 17. Colores para la clasificación del riesgo.....	29
Figura 18. Mapa de inundación en La Mojana - zona urbana Fuente: Propia.....	30
Figura 19. Inundación en zonas de cultivos de maíz en la región de La Mojana. Fuente: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, 2017.....	30
Figura 20. Comportamiento del flujo del río.....	33

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación básica de las inundaciones.....	12
Tabla 2. Caudales máximos anuales 1985 - 2022.....	25

Resumen

La región de La Mojana, perteneciente a la Depresión Momposina, se encuentra sujeta constantemente a inundaciones causadas por los desbordamientos del río Cauca, Magdalena y San Jorge, siendo un factor deteriorante para la comunicación terrestre, desarrollo de actividades agropecuarias y áreas cultivables, pues esta región está ocupada por aproximadamente 437.000 habitantes, siendo el 47.7% del área rural y el restante se ubica en zonas cercanas a la orilla del sistema cenagoso que compone a esta región. El objetivo de este estudio fue contribuir a la identificación de zonas de riesgo por inundación mediante un modelo hidrológico, con el fin de incentivar la implementación de buenas estrategias en los procesos de planificación y gestión del riesgo, para disminuir los impactos que esto pueda generar, además efectuar una respuesta rápida y efectiva frente a este tipo de eventos, así como también, generar consciencia en los habitantes de esta región.

Palabras claves: inundación, riesgo, simulación de inundación

Abstract

The region of La Mojana, belonging to the Momposina Depression, is constantly subject to flooding caused by the overflowing of the Cauca, Magdalena and San Jorge rivers, which is a deteriorating factor for land communication, development of agricultural activities and cultivable areas, since this region is occupied by approximately 437,000 inhabitants, 47.7% of the rural area and the rest is located in areas near the shore of the swampy system that makes up this region. The objective of this study was to contribute to the identification of flood risk zones using a hydrological model, in order to encourage the implementation of good strategies in the planning and risk management processes, to reduce the impacts that this may generate, as well as to carry out a quick and effective response to this type of events, and to raise awareness among the inhabitants of this region.

Key words: flood, risk, flood simulation

1. Introducción

El cambio climático está ocasionando ciertas irregularidades en cuanto al fenómeno de precipitación; por otro lado, el ser humano abusa constantemente de los ecosistemas, participan en la construcción de obras de infraestructura y además, se ven bastantes asentamientos de la población, todos estos factores han contribuido en una construcción social vulnerable al riesgo, que impacta de una manera contundente tanto en la sociedad como en los sectores productivos del país cuando se presenta la amenaza de lluvias intensas y prolongadas (Sedano-Cruz et al., 2011).

Por otro lado, la región de La Mojana se encuentra sujeta constantemente a inundaciones causadas por los desbordamientos del río Cauca, Magdalena y San Jorge siendo un factor deteriorante para los pocos caminos que existen en la región, pues interrumpen la comunicación terrestre y el desarrollo de actividades agropecuarias, además de afectar áreas cultivables también se afectan las cabeceras de los municipios como San Jacinto, Tenche, Guaranda, Magangué y Nechí (Posada García & Duque Marín, 2006).

Demográficamente esta región está ocupada por aproximadamente 437.000 habitantes, siendo el 47.7% del área rural y el restante se ubica en zonas cercanas a la orilla del sistema cenagoso que compone a esta región, siendo poblaciones vulnerables a los riesgos de inundación, generando impactos negativos en cuanto a la baja producción económica y la presencia de plagas (Caraballo & De la Ossa, 2011).

Es importante mencionar que, las inundaciones se han convertido en uno de los fenómenos provenientes de cambios climáticos más frecuentes alrededor del mundo por lo que durante

las últimas décadas se han venido desarrollando estrategias para reducir los efectos negativos que pueden traer consigo este tipo de fenómenos naturales (De Moel et al., 2009).

En virtud de lo anterior esto puede afectar de manera potencial a la región de La Mojana y sus actividades económicas, por lo que esta investigación pretende servir como base para la identificación de zonas de riesgo de inundación, mediante la implementación de un modelo hidrológico.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Determinar las zonas potencialmente inundables en una zona aledaña al río Magdalena en la región de La Mojana, Colombia

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar las zonas con más riesgo de inundación en un segmento del río Magdalena en la región de La Mojana
- Determinar la geometría del segmento del río Magdalena en la zona de estudio
- Simular las zonas de inundación en una zona aledaña al río Magdalena en la región de La Mojana

3. Marco Teórico y Estado del Conocimiento

En este apartado se establecen los conceptos que hacen parte de la investigación para comprender mejor su objetivo, teniendo en cuenta esto, uno de los conceptos principales hace referencia a las inundaciones, las cuales suelen ser ocasionadas debido al aumento de flujo y volumen de los cursos de agua, además influye de manera directa los sistemas de evacuación que no son los adecuados, ya sean cauces naturales o sistemas de drenajes artificiales (Ferrando & Filiación, 2006).

En general existen tres tipos de inundaciones (ver Tabla 1): naturales, inducidas y antrópicas, pero es de vital importancia tener en cuenta a lo que hace referencia una inundación natural, pues estas aluden a zonas planas que no tienen una conexión con una red fluvial pues se puede acumular el agua sin que pueda circular sobre la superficie terrestre (IDEAM, 2013).

Tabla 1. Clasificación básica de las inundaciones

Tipos de inundaciones	Naturales	Inundaciones tierra adentro	Relacionados con la red fluvial	Inundaciones Torrenciales	Crecientes súbitas
				Crecientes lentas	Aumento lento del nivel del agua
				Rotura de presas naturales	Lagos, represamientos naturales
				Obstrucción de cauces	Movimientos del terreno
	Inundaciones costeras	Mareas	Mareas altas y mareas de primavera		
		Olas y ondas	Tormentas, ciclones y tsunamis		
	Inducidas	Obstáculos al flujo, impermeabilizaciones del suelo, deforestación			
Antrópicas	Gestión inadecuada de obras hidráulicas	Desembalses			

		Roturas y fugas	Almacenamientos, conducciones
--	--	-----------------	-------------------------------

Por otro lado, la ONU y el Banco Mundial reportan a Colombia como el tercer país de mayor riesgo climático en el mundo, por lo que se considera que es de vital importancia la implementación de buenas estrategias en los procesos de planificación y gestión integral del riesgo, pues un evento de gran magnitud como lo puede ser una inundación pone en gran porcentaje de vulnerabilidad a poblaciones que se encuentren en índice de pobreza que según el DANE corresponden al 46% en las ciudades y 65% en el campo (Sedano-Cruz et al., 2011). Es por esto que el 1 de abril de 2012 se aprueba la ley 1523 que adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

Por ende, en esta investigación, se plantea hacer un modelo hidrológico, para la identificación de zonas que se encuentran en potencial riesgo de inundación en una zona de la región de La Mojana. Para ello, es importante tener en cuenta el concepto de mapa de inundación y para qué sirve.

Los mapas de inundación brindan una información sobre fenómenos naturales que se hayan presentado en ciertas zonas, ya sea para determinar que es probable o es potencial el riesgo de inundación, junto con los impactos que esto puede conllevar. Esto permite que las personas encargadas de la toma de decisiones ya sea a nivel local, regional o nacional puedan enfocarse en la gestión de inundaciones y tomar decisiones más integrales, y, por otro lado, permite que los ciudadanos sean más conscientes del riesgo que puede generar este tipo de fenómenos (*Inundaciones - IDEAM, 2013*).

Ahora bien, los mapas varían teniendo en cuenta el objetivo que se quiera lograr, que para este caso en particular es importante tener en cuenta uno principal que es el mapa de riesgo de inundación que se puede ver en la Figura 1, el cual tiene por objetivo el desarrollo de mapas de riesgo de inundación, de emergencia de inundación y otros relacionados, en ellos se tienen en cuenta factores que permitan un correcto análisis de la zona como las áreas cubiertas por agua y su profundidad, la velocidad de propagación de la inundación, de manera que se pueda determinar el grado de amenaza en el que se encuentra la zona de estudio.



Figura 1. Mapa de riesgo de inundación Fuente: IDEAM, 2013

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, es de importancia tomar en consideración el término de “peligro o amenaza”, que es el factor externo representado por la posibilidad de que ocurra un fenómeno en un determinado momento, lugar y magnitud específica y que podría ocasionar daños a la comunidad en general. Por otro lado, se tiene la definición de “vulnerabilidad”, que hace referencia al factor interno de un área en específico donde se está

realizando el análisis, donde se plasman las características de la sociedad acorde a su contexto que las hace susceptibles a sufrir daños o pérdidas graves en caso de que no se concrete el peligro o amenaza y además, el “riesgo de desastre” refiriéndose a la probabilidad que una amenaza produzca daños al actuar sobre una población vulnerable y esta está en función del peligro con la vulnerabilidad. En la Figura 2 se puede observar de una manera gráfica la diferencia entre peligro, vulnerabilidad y riesgo de desastre.



Figura 2. Peligro, vulnerabilidad y riesgo de desastre Fuente: Calvo J, 2022

Según un estudio hecho en Nueva Zelanda, se evidenció que los mapas de inundación que ya habían sido desarrollados, eran muy complejos y no eran de fácil accesibilidad para las comunidades que se encontraban en riesgo de inundación, por lo que las personas no eran conscientes del peligro a los que estaban enfrentados, es por esto que en Alemania, Reino Unido y los Estados Unidos se evaluó el propósito de brindar herramientas de comunicación

del riesgo de inundación, entre ellos los mapas de inundación de fácil acceso a la comunidad y sobre todo claros para prevenir eventos de riesgo (Auliagisni et al., 2022).

Por otro lado, el gobierno de Nueva Zelanda ha estado concientizando a las comunidades sobre el riesgo de las inundaciones, así como también fomentando la implementación de estrategias de mitigación de manera que la población se pueda preparar en caso de cambios climáticos, en una de estas iniciativas o estrategias que se plantearon se requería información, diseño y publicación de mapas de inundación como el de la Figura 3, de tal forma que la comunidad pudiera tener claro que zonas se podrían encontrar en una escala alta de vulnerabilidad al riesgo por inundación y de esta manera poder establecer medidas de prevención de riesgo (Auliagisni et al., 2022).

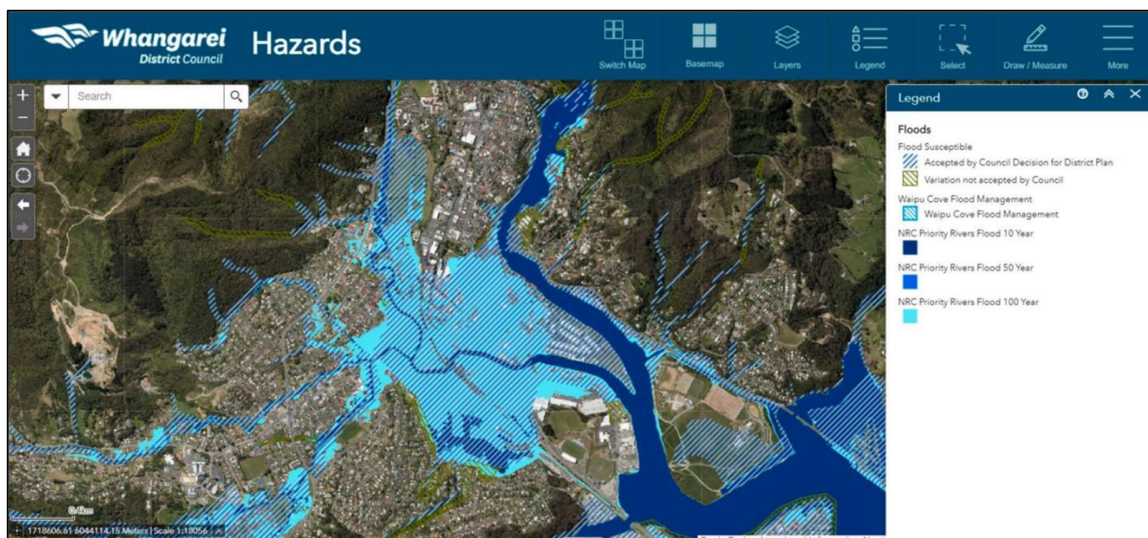


Figura 3. Simulación de riesgo de inundación del consejo del distrito de Whangarei. Fuente: Auliagisni, 2022

Desde otro punto de vista, hay investigaciones que sugieren seguir un enfoque basado en el riesgo en la gestión de inundaciones, por lo que las estrategias que se plantean pretenden reducir el riesgo global de inundación, que hace referencia a la probabilidad de un evento

multiplicada por sus consecuencias, además se plasma que esto se puede lograr limitando la magnitud y la probabilidad de la inundación (el peligro), el daño potencial (exposición) y forma en que se maneja los eventos de inundación (capacidad de afrontamiento) (De Moel et al., 2009).

Es importante tener en cuenta que el riesgo hace referencia a la combinación de las características físicas del evento de inundación (la amenaza) y sus posibles consecuencias. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se distingue la “exposición” y la “capacidad de afrontamiento” como los elementos que componen las posibles consecuencias, pues la exposición nos intuye a lo que puede verse afectado por la inundación, como lo pueden ser edificaciones, uso de la tierra y la población, y la capacidad de afrontamiento se relaciona en cómo se pueden manejar los efectos adversos a una inundación (De Moel et al., 2009).

En otros estudios se ha determinado que Bangladesh es uno de los países más afectados por inundaciones en el mundo, pues ha aumentado la frecuencia, la intensidad, la duración y la devastación de estos eventos, es por esto que se han hecho varias investigaciones con el fin de desarrollar una metodología operativa para el mapeo de áreas dañadas por inundaciones potenciales para efectuar una respuesta rápida y efectiva frente a los eventos. Teniendo en cuenta esto, se hicieron varios intentos para mapear la extensión de las inundaciones en Bangladesh a partir de imágenes satelitales, por lo que se utilizaron imágenes Sentinel-1 para generar extensiones de inundación como se puede evidenciar en la Figura 4 (Uddin et al., 2019).

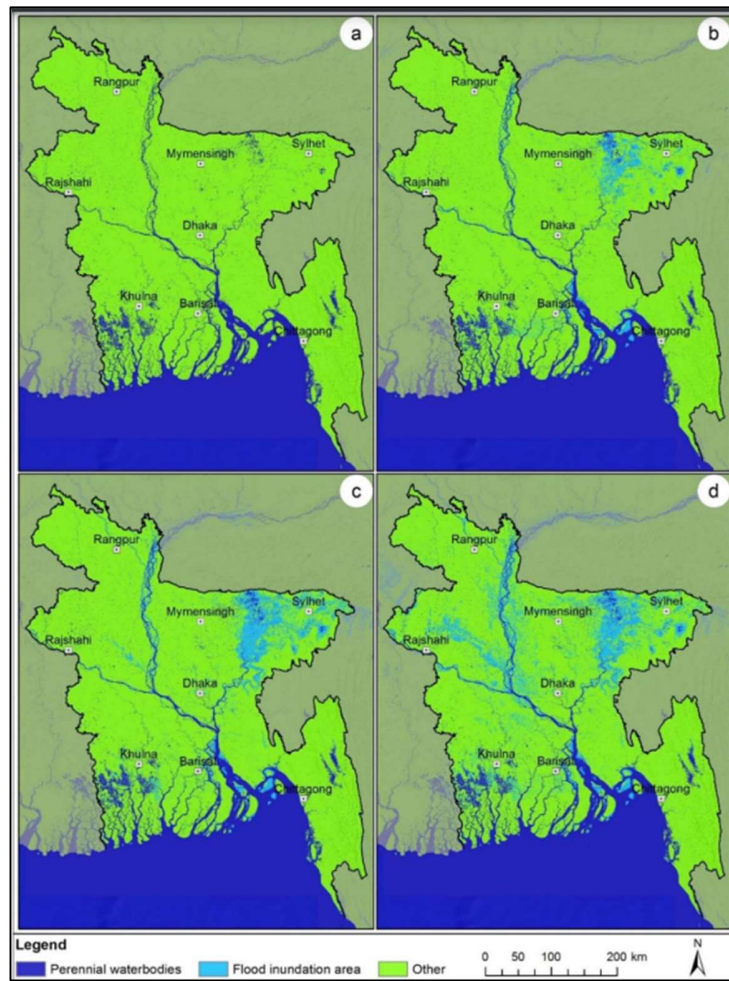


Figura 4. Ejemplo de mapa completo de inundación en Bangladesh. Fuente: Uddin et al., 2019

4. Metodología

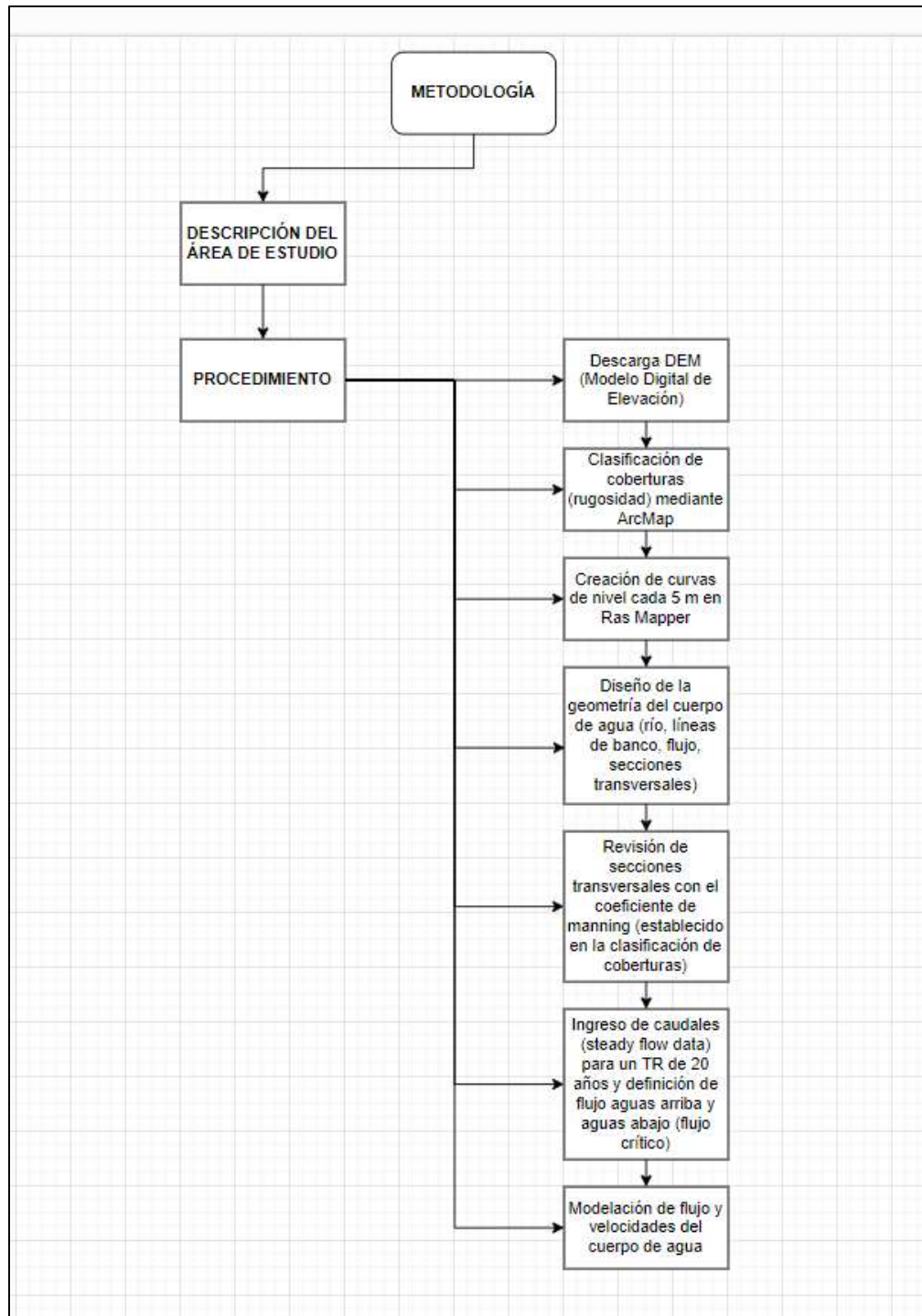


Figura 5. Metodología

4.1 Descripción del área de estudio

La región de la Mojana es un territorio que abarca once municipios de los departamentos de Antioquia (Nechí), Bolívar (Magangué, Achí y San Jacinto del Cauca), Córdoba (Ayapel) y Sucre (San Marcos, Guaranda, Majagual, Sucre, Caimito y San Benito Abad). Es considerada como una subregión ubicada en la parte norte de Colombia, que, geográficamente está delimitada al oriente con el río Cauca, al occidente con el río San Jorge y ciénaga de Ayapel, al nororiente con el brazo de Loba del río Magdalena y al sur con las tierras de Caucasia y la serranía de Ayapel. Con un área de 500.000 Ha, de las cuales el 72% pertenecen al departamento de Sucre. (Aguilera Díaz, 2004). A continuación, en la Figura 5, se puede observar la región de La Mojana y las fuentes de agua que la rodean.

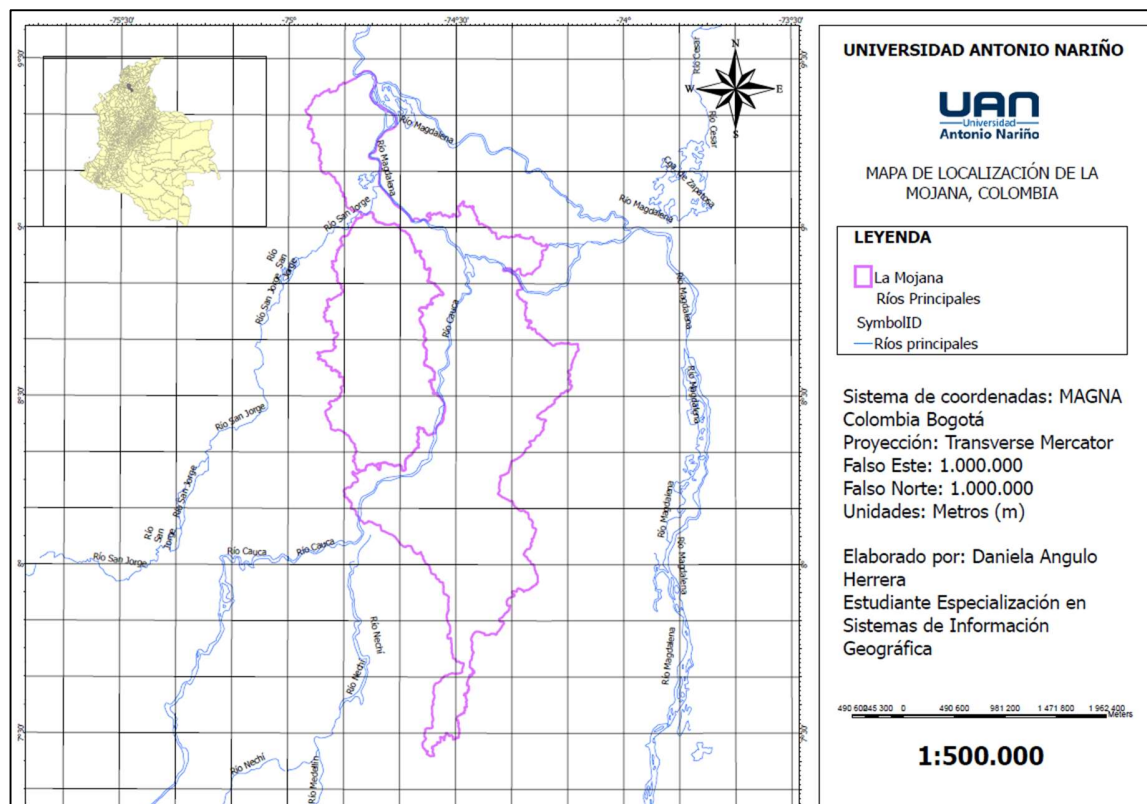


Figura 6. La Mojana, Colombia. Fuente: Propia

Es importante mencionar que, la región de La Mojana hace parte de la Depresión Momposina, la cual contiene alrededor del 80% de todas las ciénagas de la región, y es alimentada por cuatro sistemas fluviales que se pueden observar en la Figura 6:

- Río Magdalena
- Río Ariguaní – Cesar – Ciénaga de Zapatosa
- Río Cauca – Ciénagas del Sur
- Río San Jorge – Ciénagas del SW

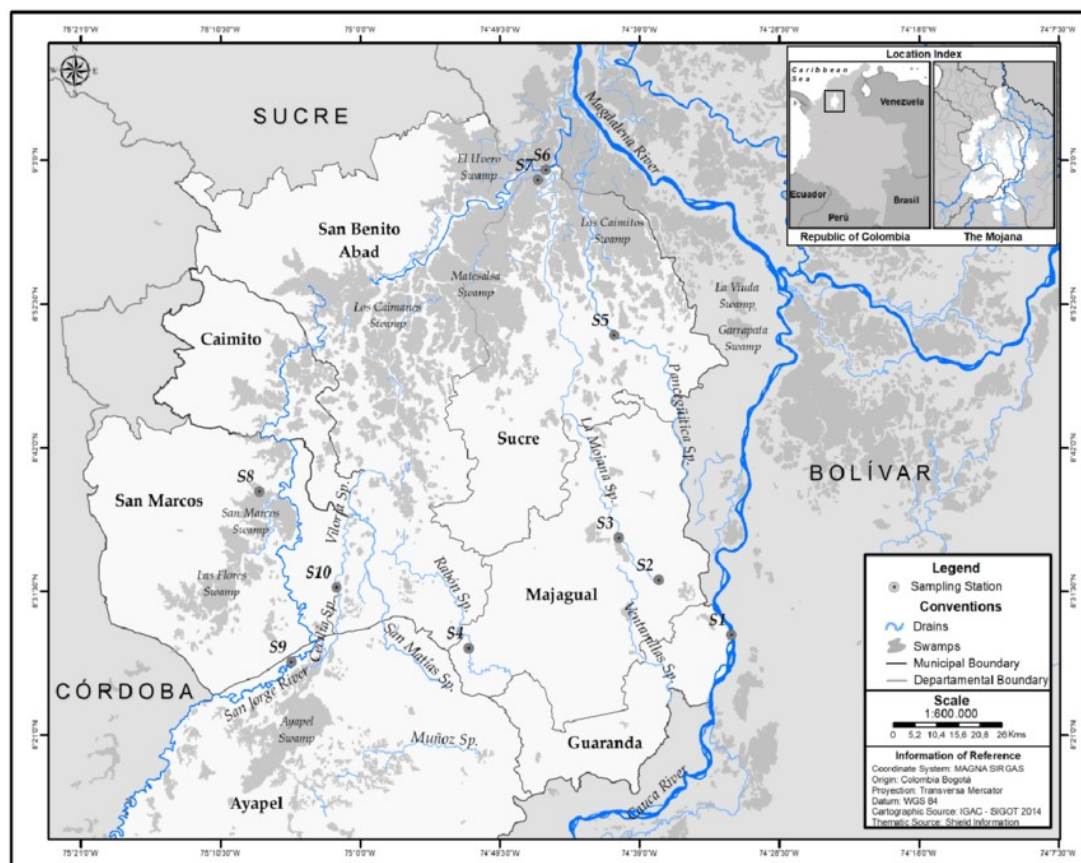


Figura 7. Red Hidrográfica de La Mojana Fuente: Marrugo-Negrete J et al., 2018

Por otro lado, su forma cóncava, la hace ser una de las zonas más grandes e inundables que existen en América, viéndose afectada aproximadamente un área de 10.000 km². (Herrera et al., 2001)

La zona de La Mojana se caracteriza por tener un clima tropical cálido y húmedo, con temperaturas que oscilan entre los 28°C. En cuanto a temporadas de lluvias, tiene una época seca que va desde el mes de diciembre a abril y los más lluviosos van de agosto a octubre. Por otro parte, la precipitación anual también puede variar dependiendo la zona, por ejemplo:

- Magangué: Anualmente alcanza 1.051 mm con un rango entre 5 y 11 días con lluvias
- Nechí y Achí: Varía anualmente entre los 1000 mm y 4500 mm

Como primera instancia, se consultó en la página del Instituto de Recursos Mundiales, para poder ver el riesgo de la zona por riesgo a inundaciones fluviales e inundaciones costeras, para el caso de las inundaciones fluviales se pudo observar que la zona está determinada con un grado de ocurrencia de inundación extremadamente alto (ver Figura 7).

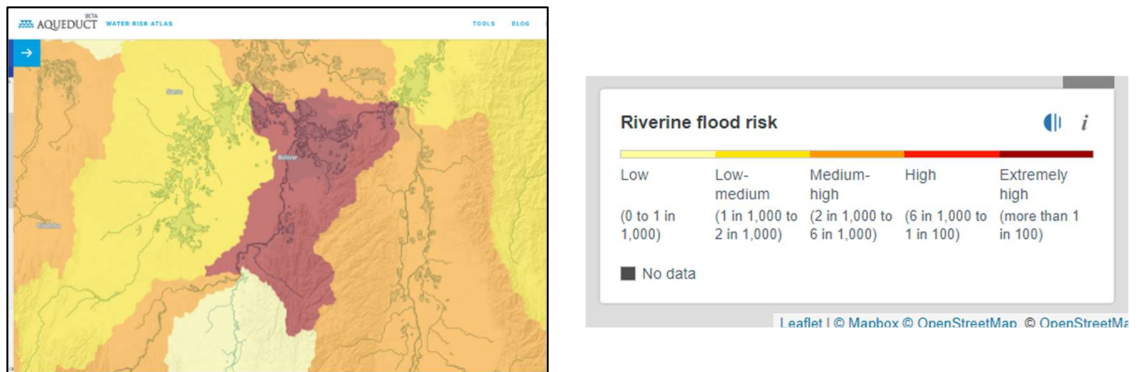


Figura 8. Riesgo de inundación fluvial en la región de La Mojana Fuente: Instituto de Recursos Mundiales

Para el caso de inundaciones costeras se pudo evidenciar que la zona presenta un riesgo de inundación baja (ver Figura 8).

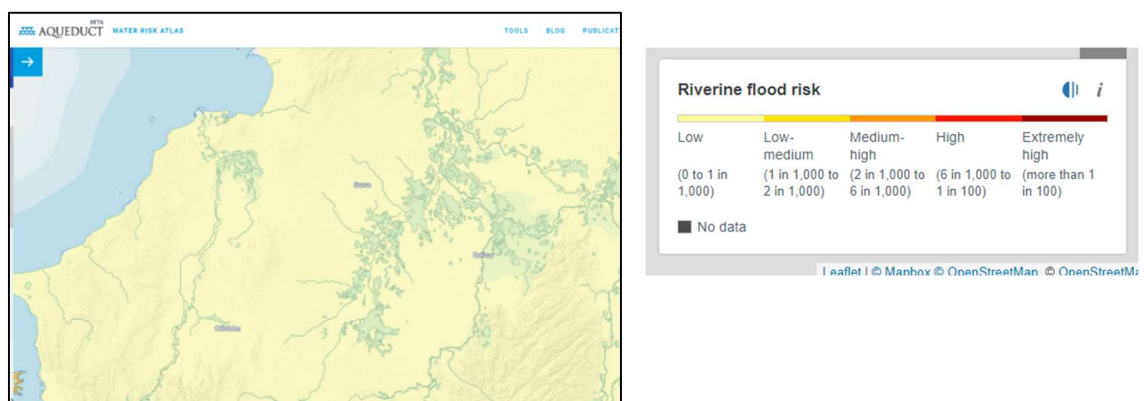


Figura 9. Riesgo de inundación costera en la región de La Mojana Fuente: Instituto de Recursos Mundiales

5. Resultados y discusión

Para la modelación fue de gran importancia realizar la clasificación de rugosidades, esto con el fin de poder determinar las diferentes coberturas y detalles de la superficie para que la modelación fuera más precisa y se pudiera simular de manera correcta el comportamiento del flujo, el proceso se hizo mediante el software de ArcMap, teniendo en cuenta clasificaciones como cultivos, zonas urbanas, pastos y cuerpos de agua

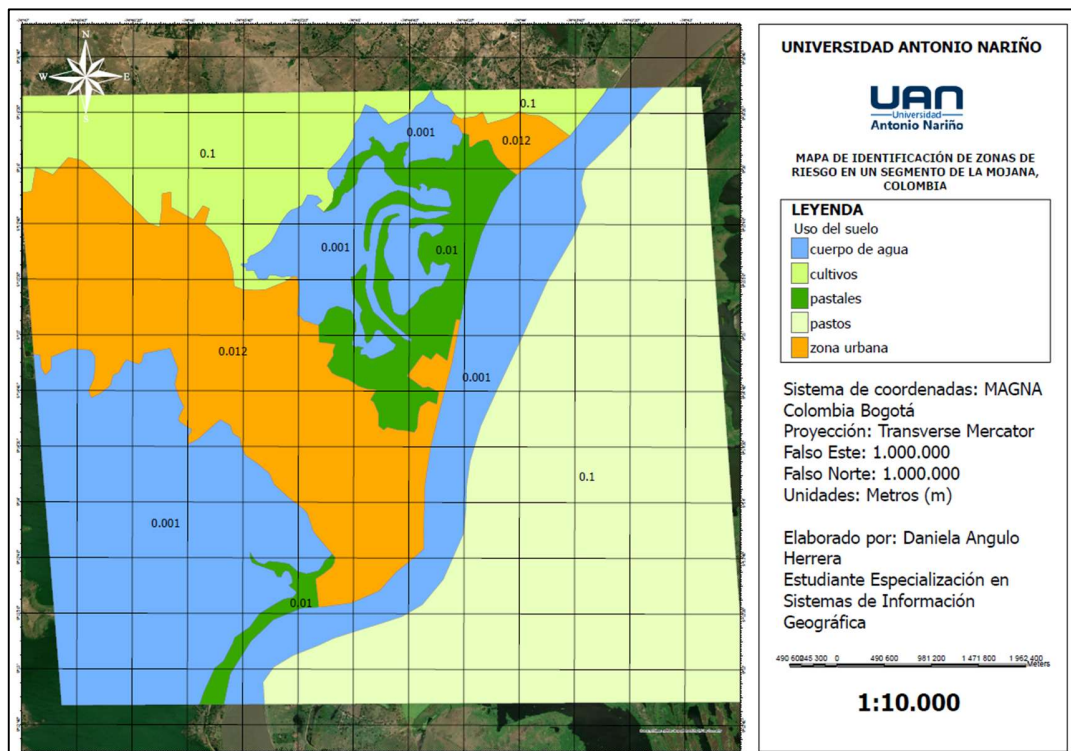


Figura 10. Clasificación de rugosidades

Por otro lado, se aclara que un caudal de retorno es un valor de caudal que se presenta cada determinado tiempo, su cálculo se puede hacer mediante la obtención de los caudales históricos anuales de la zona de estudio, para este caso,

se utilizó el método de Gumbel, el cual permite determinar el valor máximo que se quiere utilizar para un periodo de retorno en específico, para ello se implementó el siguiente procedimiento

AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN HIDROLÓGICA – MÉTODO GUMBEL

$$F(x) = e^{-e^{-d(x-\mu)}}$$

Donde d y μ son constantes de la ecuación de Gumbel que dependen de la media y la desviación estándar de los datos.

Media

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Desviación Estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\mu = \bar{x} - 0.450047 S$$

$$d = \frac{1}{0.779696 S}$$

Figura 11. Método de Gumbel

Para este estudio se tuvo en cuenta el registro de caudales desde 1985 hasta el 2022, con un registro de 38 años, arrojando los siguientes resultados

Tabla 2. Caudales máximos anuales 1985 - 2022

Años	Caudales anuales (m ³ /s)
1985	6814
1986	7666
1987	9850
1988	9086
1989	8440
1990	6661
1991	5878
1992	5752
1993	8084
1994	7661
1995	7519
1996	7824
1997	5208

1998	7483
1999	8992
2000	8292
2001	6270
2002	5891
2003	7752
2004	7824
2005	9380
2006	8130
2007	9025
2008	9540
2009	8537
2010	11127
2011	10503
2012	10210
2013	6350
2014	6431
2015	4332
2016	7455.5
2017	7993.6
2018	7737.52
2019	7737.52
2020	7913.37
2021	8934.01
2022	9299.65

Una vez determinados los caudales, se utilizó el método de Gumbel, de manera que se pudieran determinar los caudales de retorno para 5, 10 y 20 años

x (promedio)	7883.76763
s (desviación estándar)	1492.32209
μ	7212.15255
d	0.00085943

Figura 12. Implementación del método de Gumbel

Teniendo en cuenta lo anterior, se obtuvieron los siguientes caudales de retorno

T= 5 años Caudal obtenido 8957.42 m³/s

T= 10 años Caudal obtenido 9830.58 m³/s

T= 20 años Caudal obtenido 10668.15 m³/s

Para el modelo hidrológico se tuvo en cuenta el caudal para un periodo de retorno de 20 años debido a que es el valor medio de los caudales históricos máximos anuales.

Por otro lado, debido a que la zona es bastante plana y además está influenciada por diferentes ríos como el Magdalena, Cauca, San Jorge y Cesar, se hace más complejo el estudio en esta región, por eso es importante que se le de más visibilidad para la correcta prevención del riesgo a inundación, además, para esta modelación teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se configuraron las condiciones de frontera, tanto aguas arriba como aguas abajo con un flujo crítico, por otro lado, fue importante establecer el tipo de flujo, que para este caso es un flujo estable, pues esta zona se caracteriza por tener un canal único estrecho, con sinuosidad baja en general, similar a la que presentan los demás brazos que llegan a esta fuente de agua principal.



Figura 13. Región de La Mojana

Con respecto a las temporadas climáticas en la región se dividen en 3, temporadas secas que comprende los meses de enero a abril, temporadas neutras de mayo a julio y temporadas lluviosas de agosto a diciembre. Teniendo en cuenta los siguientes gráficos, se puede evidenciar que las temporadas con caudales más altos efectivamente son los meses de agosto a diciembre.



Figura 14. Gráfica de caudales promedio durante el año 2020 Fuente: Propia

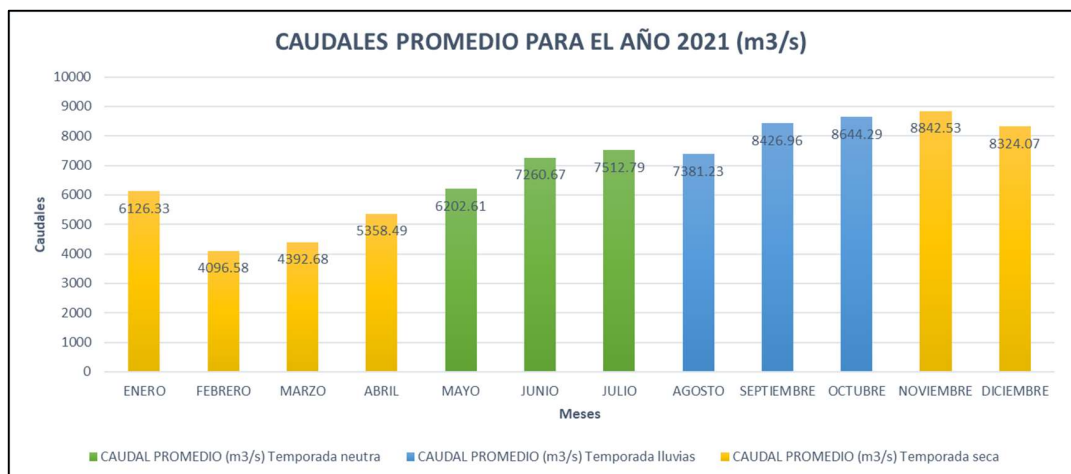


Figura 15. Gráfica de caudales promedio durante el año 2021 Fuente: Propia

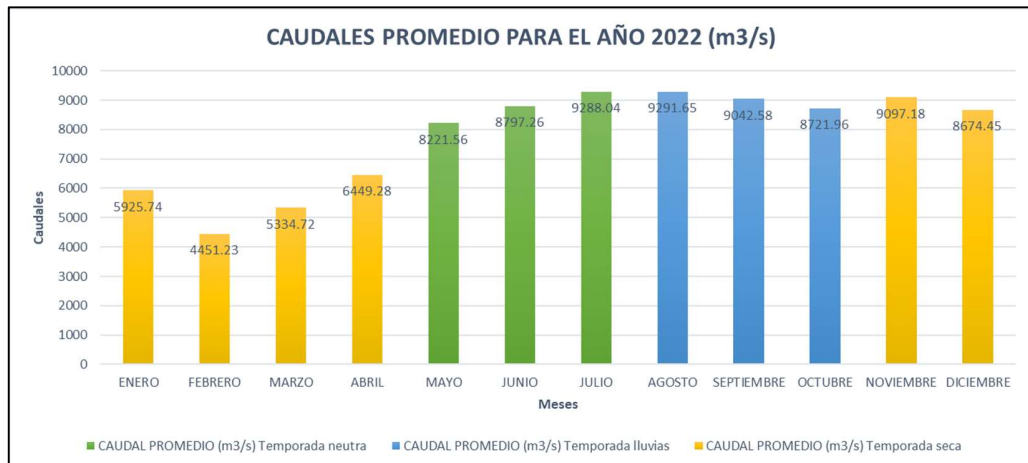


Figura 16. Gráfica de caudales promedio durante el año 2022 Fuente: Propia

De acuerdo con los objetivos planteados en la investigación, luego de haber digitalizado la geometría del río con cada uno de sus objetos (río, líneas de banco, líneas de flujo y secciones transversales) y haber procesado toda la información en el software de HEC-RAS se pudo obtener una simulación de inundación en la región de La Mojana.

Haciendo un análisis según los datos obtenidos del ráster del río, las zonas con más riesgo de inundación corresponden a las cubiertas por tonalidades rojas, pues se hizo una clasificación por código de colores según las clasificaciones obtenidas.

	Riesgo Bajo
	Riesgo Medio
	Riesgo Alto
	Riesgo Muy Alto

Figura 17. Colores para la clasificación del riesgo

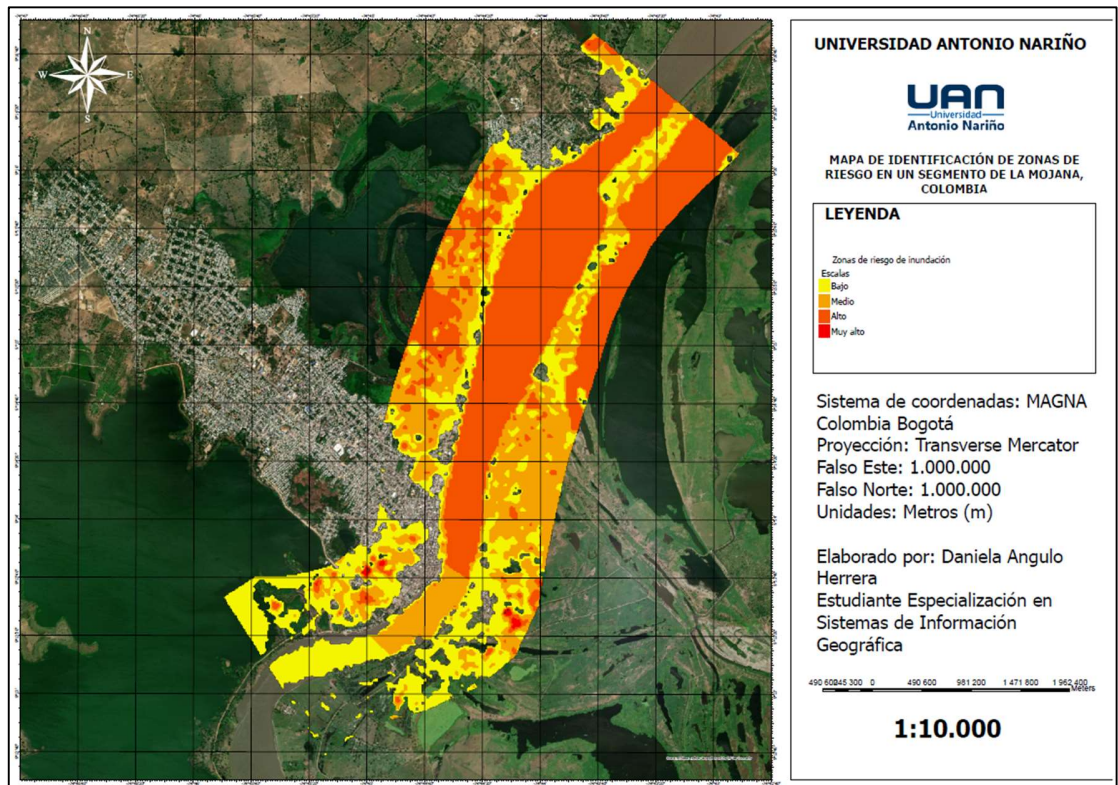


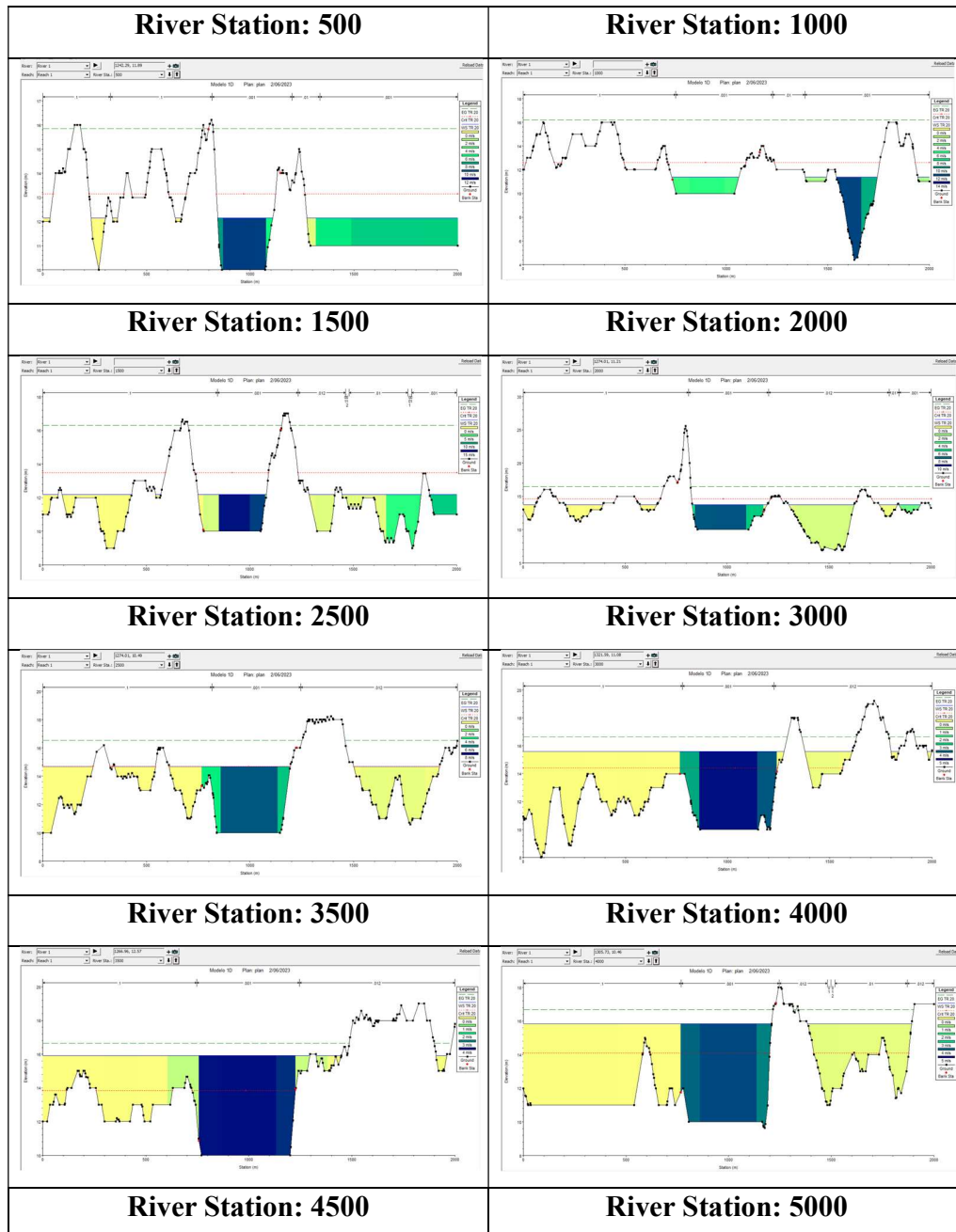
Figura 18. Mapa de inundación en La Mojana - zona urbana Fuente: Propia

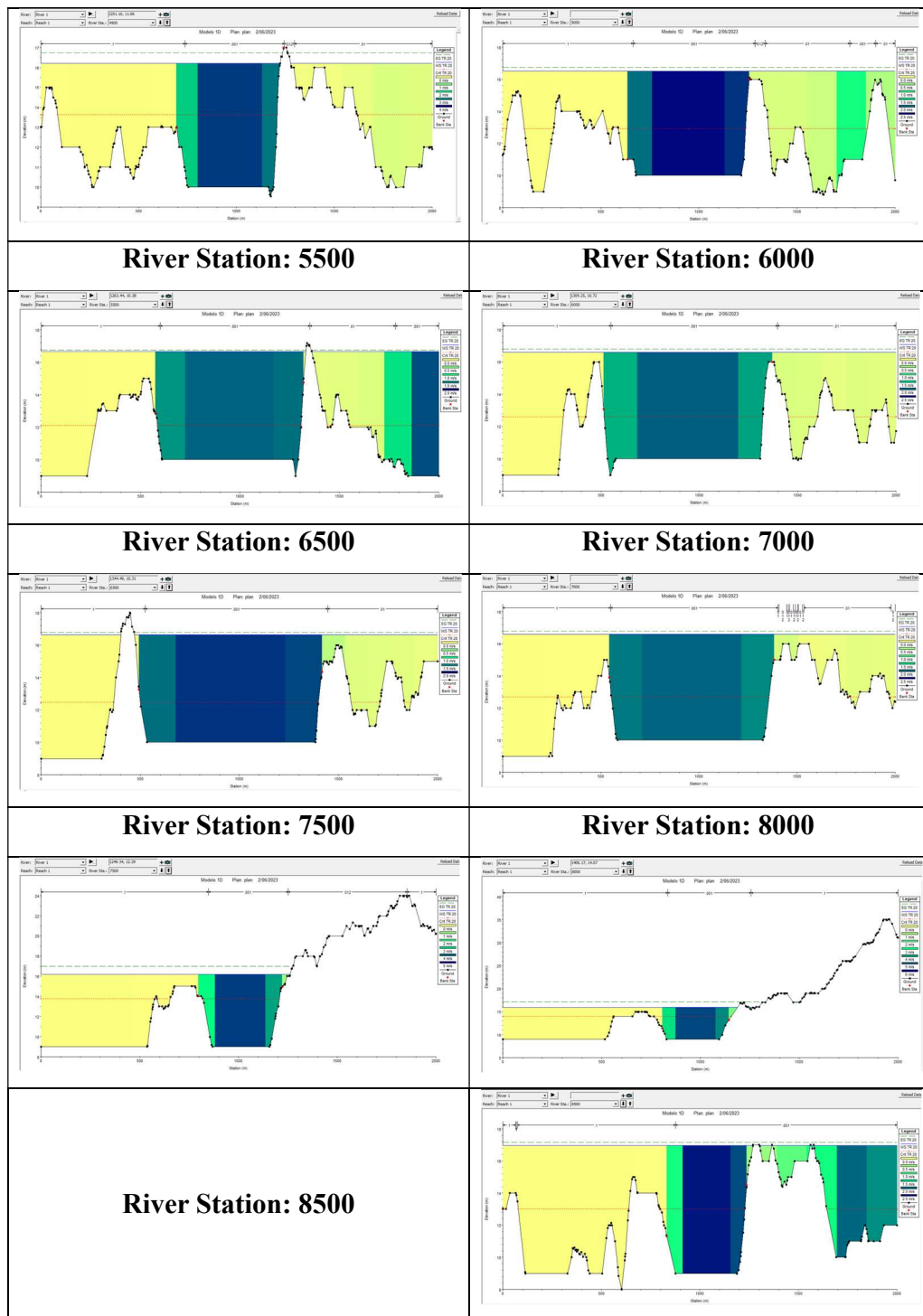
Por otro lado, la zona urbana no es la única que sufre las consecuencias de las continuas inundaciones, pues la zona rural también se ve muy afectada, sobre todo la zona de cultivos de arroz, maíz y yuca, pues estas zonas corresponden al 47.7% de la región de La Mojana, con aproximadamente 500.000 ha cultivadas (Aguilera Díaz, 2004).



Figura 19. Inundación en zonas de cultivos de maíz en la región de La Mojana. Fuente: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, 2017

Una vez ejecutado el modelo hidrológico, se pudieron obtener varios resultados que permitieron determinar como podría ser la inundación de esta región, basados en un periodo de retorno de 20 años, entre ellos las secciones transversales cada 500 m con las velocidades del flujo





Para las secciones transversales anteriores se tuvo en cuenta también el coeficiente de rugosidad de Manning según el tipo de cobertura, lo que permitió que la modelación del flujo fuera más precisa, además se pudieron observar las diferentes

velocidades de inundación en cada una de las secciones transversales, que tienden a ser entre velocidades medias a altas medidas en m/s.

Ahora bien, también se pudo obtener el comportamiento del flujo del río, donde se puede observar que en algunas zonas (la mayoría) el flujo es mayor que el delimitante crítico y en otras es menor.

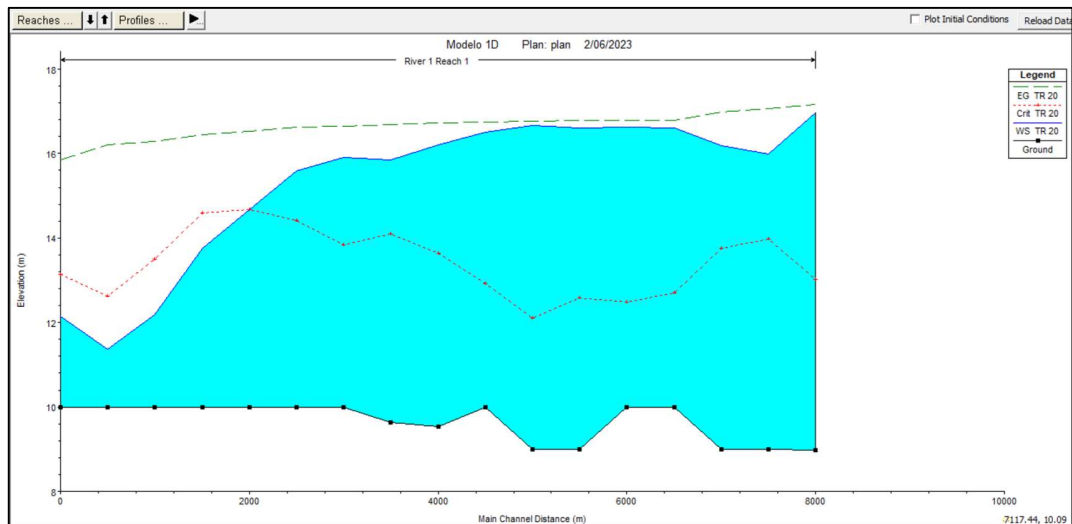


Figura 20. Comportamiento del flujo del río

6. Conclusiones

- Los resultados de este estudio demuestran que la región de La Mojana es una zona vulnerable a riesgo por inundaciones, esto debido a su topografía, pues es una zona con pendientes demasiado bajas que hacen que la zona sea inundable con facilidad, sobre todo en épocas lluviosas. Según el segmento trabajado en esta investigación, se pudo evidenciar que la zona de Magangué, que corresponde a la zona urbana, se encuentra ubicada al borde del cuerpo de agua, por lo que los predios y demás edificaciones, se ven afectadas en gran magnitud pues las extensiones de las inundaciones son bastante extensas. Según el cálculo de áreas urbanas se tiene en promedio una afectación de 1 a 2 Ha.
- La región de La Mojana es una zona de planicie de inundación y, por lo tanto, está sujeta a la variación de los ríos (caudal) y las épocas climáticas que se puedan presentar durante el transcurso del año, por lo que se ha planteado hacer una reconstrucción de la zona. Digitalizando la geometría del río Magdalena, se pudo constatar la planicie de la región y de sus grandes recorridos de cuerpos de agua, por eso se hizo la simulación de una inundación, para determinar las zonas más vulnerables y además que sirva para futuros estudios, así como también para la toma de decisiones, pues es de vital importancia que las tecnologías actuales como lo pueden ser los sistemas de información geográfica y manejo de herramientas SIG puedan ser implementadas para una gestión del riesgo adecuada y prevenir desastres.

- Según el análisis comparativo que se hizo para determinar los caudales promedios durante el periodo de 2020 - 2022, se pudo evidenciar que esta región se ve bastante afectada en épocas de lluvia.
- La aplicación de herramientas SIG, como en este caso la implementación de Hec-Ras, permite ahorrar tiempo y recursos en la modelación hidráulica para la prevención de riesgos

7. Referencias bibliográficas

- Aguilera Díaz, M. (2004). *La Mojana: riqueza natural y potencial económico*. www.banrep.gov.co
- Auliagisni, W., Wilkinson, S., & Elkhartoutly, M. (2022). Using community-based flood maps to explain flood hazards in Northland, New Zealand. *Progress in Disaster Science*, *14*, 100229.
- Banco de Occidente. (2009). *Río Grande de La Magdalena*. Libros de La Colección Ecológica Del Banco de Occidente.
- Caraballo, P., & De la Ossa, J. (2011). Inundaciones en la mojana: ¿via crisis social o condición ambiental? *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, *3*(1), 198–210.
- Chow. (1959). *Manning's n Values*.
- De Moel, H. D., Van Alphen, J., & Aerts, J. C. J. H. (2009). Flood maps in Europe—methods, availability and use. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *9*(2), 289–301.
- Fernández de Córdova Webster, C. J., León Méndez, A. J. F., Rodríguez López, Y., Martínez Ramírez, P. G., & Meneses Meneses, D. M. (2018). Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, *39*(1), 17–31.
- Ferrando, F. J., & Filiación, A. (2006). *Sobre inundaciones y anegamientos Flood Disasters*. <http://revistas.uchile.cl/index.php/RU/index>
- Herrera, L. F., Sarmiento, G., Romero, F., Botero, P. J., & Berrío, J. C. (2001). *Evolución ambiental de la Depresión Momposina (Colombia) desde el Pleistoceno tardío a los paisajes actuales*.
- IDEAM. (2013). *Mapas de inundación de Colombia*. <http://www.ideam.gov.co/web/siac/inundaciones>
- Inundaciones - IDEAM*. (2013). <http://www.ideam.gov.co/web/siac/inundaciones>
- Posada García, L., & Duque Marín, O. A. (2006). Diques fusibles para el control de inundaciones en La Mojana. *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*.
- Sedano-Cruz, K., Carvajal-Escobar, Y., & Ávila-Díaz, Á. (2011). Variabilidad climática, cambio climático y gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia. *SEMILLAS*, *46*, *47*, 47–53.
- Uddin, K., Matin, M. A., & Meyer, F. J. (2019). Operational flood mapping using multi-temporal Sentinel-1 SAR images: A case study from Bangladesh. *Remote Sensing*, *11*(13), 1581.