

Análisis e Identificación de Zonas con Alto Riesgo de Inundaciones en el Área Metropolitana de
Bucaramanga.

James Gustavo Trujillo Ocampo – D7303141

est.james.trujillo



Tutor:

Ing. Siervo Andrés Aguirre Benavides.

Universidad Militar Nueva Granada.

Facultad de Estudios a Distancia.

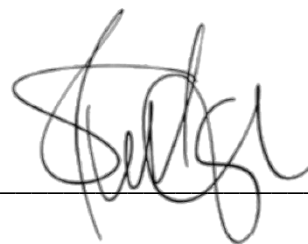
Programa de Ingeniería Civil.

Septiembre.

2021

Nota de aceptación

El trabajo de grado “Análisis e identificación de zonas con alto riesgo de inundaciones en el área metropolitana de Bucaramanga”, presentado para optar por el título de Ingeniero Civil cumple con los requisitos establecidos y recibe nota aprobatoria.



Msc. Siervo Andres Aguirre Benavides

Tutor del Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Bogotá, D.C., día 20 de mes septiembre del año 2021.

Dedicatoria

Dedicado y agradecido a Dios primeramente por su inmenso amor, porque es el por qué y el para qué de mi vida en este mundo, porque sin él no habría logrado nada. A mí, por ser perseverante y siempre dar una milla extra. A mis papás Jorge Dariel Trujillo Ramírez y María Edelmira Ocampo Quintero sin los cuales jamás podría estar en el lugar en el que estoy, por su incondicional apoyo, por ser mi motivación, son después de Dios los mayores responsables de la persona que soy. A mis hermanos por su apoyo, fuerza y enseñanza. Agradecimientos a mi tutor por su dedicación, paciencia y entrega para con la finalización exitosa de este trabajo.

Resumen

El presente trabajo está enfocado en las amenazas de inundaciones, que hacen parte del grupo de amenazas o desastres naturales de mayor estudio y que son de mayor repetición en el área de estudio; este tipo de acontecimientos pueden provocar graves situaciones, entre las cuales se encuentran afectaciones ambientales, humanas, económicas, entre otras. En Colombia esto no es una situación ajena, al contrario, es una situación muy frecuente debido a la zona tropical en la cual está ubicada y sumado además a la inapropiada realización de construcciones ubicadas en zonas de alto riesgo. Para analizar el fondo de la problemática es necesario mencionar sus causas, y para ello es necesario apoyarse de los avances tecnológicos, mediante software especializados de información geográfica los cuales pueden ayudar a la generación de modelos y análisis estadísticos que serían de gran aporte para la mitigación o prevención de dicha problemática.

Este documento, entre otras cosas, tiene como objetivo claro generar una contribución significativa a investigaciones futuras de la Universidad, profundizando en el uso de las herramientas y sistemas de información geográfica (SIG) como aporte para el análisis de aquellos factores que desencadenan una serie de eventos, los cuales pueden ser contemplados para la mitigación y/o prevención de desastres naturales, en este caso de inundaciones. También es importante entender que este tipo de problemáticas generan un impacto social negativo en la sociedad, razón por la cual a través de este tipo de estudios se puede contemplar un abanico de posibilidades a nivel de análisis para conocer más a fondo estas problemáticas, como identificarlas y poder dar una respuesta oportuna a los eventos que se puedan presentar. Para ello se estructura el texto sobre la base del desarrollo de un conjunto de conceptos relacionados con el

análisis de fuentes de recolección de datos, para la evaluación de las variables básicas de mapas de amenazas para la gestión de riesgos de inundaciones. Estos aspectos destacan la línea de investigación la cual se centra en el proceso de recopilación y uso de software especializados, herramientas SIG y sus diferentes módulos para el análisis sobre el área de estudio.

Palabras claves: Inundaciones, ArcGIS, Georreferenciación, Mapa de amenazas y riesgos, Inundabilidad, Modelo de elevación digital, Hidrología, Área metropolitana de Bucaramanga.

Tabla de contenido

Introducción. -----	10
Planteamiento del problema.-----	12
Justificación. -----	14
Objetivo general. -----	16
Objetivos específicos: -----	16
1 Marco Referencial. -----	17
2 Diseño Metodológico. -----	30
2.1 Fase Metodológica 1.-----	31
2.2 Fase Metodológica 2.-----	31
2.3 Fase Metodológica 3.-----	33
3 Desarrollo del Diseño Metodológico. -----	34
3.1 Caracterización de la zona de Estudio -----	34
3.2 Generación de Mapas Geológicos y Geográficos. -----	35
3.3 Generación de Mapas Hidrológicos del Área de Estudio. -----	45
3.4 Generación de Mapas de Amenazas.-----	49
4 Impacto.-----	60
5 Conclusiones. -----	63
6 Recomendaciones. -----	64
Referencias bibliográficas. -----	66

Lista de figuras

Figura 1. Tipos de inundaciones.-----	17
Figura 2. Mapa preliminar de inundación de Colombia. -----	19
Figura 3. Áreas afectadas por inundaciones (2010-2011). -----	20
Figura 4. Mapa de profundidades de lámina de agua. Período de retorno de 2.33 años. -----	21
Figura 5. Localización del Río de Oro y Suratá en el área metropolitana de Bucaramanga. -----	24
Figura 6. Localización del Río Frío o Quebrada Agua Blanca en el área metropolitana de Bucaramanga. -----	25
Figura 7. Mapas urbanos Amenaza por Inundación. -----	25
Figura 8. Municipio de Girón (Santander) Amenaza de inundación. Tr. 20 años.-----	26
Figura 9. Municipio de Girón (Santander) Amenaza de inundación. Tr. 2.30 años. -----	27
Figura 10. Municipio de Girón (Santander) Amenaza de inundación. Tr. 100 años.-----	28
Figura 11. Identificación de Fenómenos Amenaza Inundación.-----	29
Figura 12. Área de influencia AMB. -----	35
Figura 13. Mapa de sombras sobre político de AMB. -----	36
Figura 14. Mapa de DEM-político, cercano. -----	37
Figura 15 Mapa de curvas de nivel sobre mapa de sombras-político - cercano. -----	38
Figura 16. Mapa de suelo con sus climas y áreas urbana. -----	39
Figura 17. Mapa de unión de pendientes-geomorfología sobre sombras AMB. -----	41
Figura 18. Mapa de fallas sobre el AMB y AI_SAS Cercano. -----	43
Figura 19. Mapa de fallas sobre mapa de unión-pendientes-geomorfología y sombras AMB. ---	44
Figura 20. Mapa de vías principales sobre sombras. -----	45
Figura 21. Mapa de cuencas sobre el AMB total. -----	46
Figura 22. Mapa de cuencas sobre el AMB cercano, sobre Basemap. -----	46
Figura 23. Mapa de Drenajes sencillos sobre sombras cercano.-----	48
Figura 24. Mapa de drenajes sencillos sobre sombras y área urbana cercano. -----	48
Figura 25. Mapa de dirección de flujo cercano.-----	49
Figura 26. Mapa de amenazas de lluvias sobre sombras con delimitación urbana y política. ----	50
Figura 28. Mapa Ame_lluvia sobre imagery general. Nivel 5 y 7 de amenaza.-----	51
Figura 29. Mapa Amenazas de lluvia sobre imagery. Área occidental de Bucaramanga. -----	52
Figura 30. Mapa Ame_lluvia sobre imagery Girón y Floridablanca. Nivel 5 y 7 de amenaza. ---	52
Figura 31. Mapa Ame_lluvia sobre imagery Piedecuesta. Nivel 5 y 7 de amenaza. -----	53
Figura 32. Mapa de amenaza de sismo sobre basemap con líneas de fallas y político. -----	55
Figura 33. Mapa de amenaza Suma (lluvia y sismo) sobre basemap y con líneas de fallas y político. -----	56
Figura 34. Mapa de Cantidad de Amenaza general.-----	57
Figura 35. Mapa de Cantidad de Amenaza media-alta-muy alta general.-----	58

Lista de tablas

Tabla 1. Memoria descriptiva mapas de inundación Departamento De Santander escala 1:100.000 .-----	19
Tabla 2. Periodos de retorno de inundación. -----	23
Tabla 3. Amenaza de inundación y hectáreas de los barrios. -----	23
Tabla 4. Convenciones básicas de Identificación de Fenómenos Amenaza Inundación -----	30
Tabla 5. Leyenda de Identificación de Fenómenos Amenaza Inundación. -----	30
Tabla 6. Tabla de valores del DEM en el AMB.-----	37
Tabla 7. Tabla de leyendas del mapa de suelos con sus climas.-----	39
Tabla 8. Tabla de leyenda de mapa de pendientes. -----	41
Tabla 9. Ponderación de pendientes. -----	41
Tabla 10. Tabla de valores Amenaza de lluvia AMB. SGC-----	51
Tabla 11. Amenaza de lluvia (AMB 4 municipios). -----	54
Tabla 12. Tabla leyenda de mapa de amenaza de sismo. SGC.-----	55
Tabla 13. Tabla de leyenda del Mapa de Cantidad de Amenaza. -----	57
Tabla 14. Tabla de leyenda de Cantidad de Amenazas media-alta-muy alta. -----	58
Tabla 15. Cantidad de amenaza AMB (4 municipios) .-----	60

Lista de siglas

ALOS:	Advanced Land Observation Satellite.
AMB:	Área metropolitana de Bucaramanga.
DEM:	Modelo de Elevación Digital.
GCS:	Geographic Coordinate System.
GIS:	Geographic Information System.
IDEAM:	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
IDIGER:	Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático.
IGAC:	Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
JAXA:	Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial.
Km:	Kilómetros.
m:	metros.
MAGNA:	Marco Geocéntrico Nacional de Referencia.
PALSAR:	Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar.
SGC:	Servicio Geológico Colombiano.
SIG:	Sistemas de Información Geográfica.
SIRGAS:	Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas.
UIS:	Universidad Industrial de Santander.
ZPI:	Zonas Potencialmente Inundables.

Introducción.

Las inundaciones hacen parte del grupo de amenazas y riesgos naturales que son de gran frecuencia, y afectan en diferentes niveles de gravedad a la sociedad. Este tipo de desastres ocurren en todo el mundo, lo cual lo convierte en una problemática que no se puede dejar de lado, si no que al contrario debe ser atacada y estudiada para lograr disminuir o evitar sus afectaciones y los eventos de riesgo que puedan presentarse. Entre las características principales de este tipo de desastres naturales, se tiene que estos pueden ser previstos a través de estudios analíticos cualitativos y cuantitativos sobre bases de datos, es decir que, si se toma el tiempo debido para analizar las zonas que pueden presentar alta probabilidad de sufrir estos eventos, se pueden llevar a cabo actividades que pueden salvaguardar la sociedad de tener pérdidas de cualquier tipo.

Teniendo en cuenta lo anterior, este estudio pretende ayudar y ser un referente para futuros estudios e investigaciones de la Universidad, donde se realizará un enfoque hacia el análisis de la información o datos obtenidos de la investigación, usados en las herramientas SIG y sus diferentes módulos con la finalidad de identificar aquellas zonas en el área metropolitana de Bucaramanga, que están ubicadas en sectores con alta probabilidad de sufrir inundaciones.

Por esta razón, se estructura el texto en tres capítulos principales. Por lo tanto, su desarrollo inicia cubriendo el análisis y diagnóstico de la problemática de gestión de riesgo, en las zonas del área metropolitana de Bucaramanga, teniendo en cuenta su geomorfología y las construcciones o asentamientos urbanos no controlados, que no tienen un estudio adecuado para realizarse y por tanto cuentan con una alta probabilidad de sufrir riesgo de inundación. Para ello

se parte de la obtención y gestión de datos de los estudios o información existente a partir de una revisión bibliográfica detallada. La segunda parte corresponde al análisis e identificación de zonas con alto riesgo de inundaciones en el área metropolitana de Bucaramanga, estableciendo dichas zonas registradas como sitios de alta probabilidad de inundación, mediante las herramientas de georreferenciación y análisis que provee ArcGis (herramientas limitadas ya que solo se cuenta con la licencia de estudiante otorgada por la universidad). Esto teniendo en cuenta aspectos como: tipo de datos recopilados, la precisión y confiabilidad de estos datos, la complejidad de la generación de los mapas y el hecho de que la licencia utilizada para el este trabajo por ser de tipo estudiante no cuenta con la completa disposición de las herramientas o módulos del programa, es decir, que solo se tiene acceso a un porcentaje de estas.

En la tercera y última parte, se procederá a relacionar aquellos factores y patrones que pueden incidir en las zonas que son presentadas con alto grado de afectación por la problemática en estudio, esto se hará analizando la información georreferenciada y modelada espacialmente. Al final del documento se desarrollarán las conclusiones y anotaciones que se pudieron obtener a través de este estudio.

Planteamiento del problema.

Las inundaciones son una problemática social y ambiental a nivel mundial y en Colombia se vienen presentando constantemente en tiempos de lluvia, esto hace parte de un proceso natural que se da de manera periódica y que a su vez forman diferentes llanuras que se encuentran ubicadas en los valles de los ríos, las riberas, las tierras fértiles, etc. Estas inundaciones se producen cuando el agua toma lugar en zonas que recientemente no han estado ocupadas por la misma y pueden darse cuando existe un desbordamiento de algún tipo de cuerpo de agua, tal como el océano, un río, un lago, etc.

Una llanura aluvial se define teóricamente como una llanura accesible en un bulevar con un período de retorno estadístico de 500 años, basado en la geomorfología, hidrología e hidráulica. Teniendo en cuenta esto y que en las últimas dos décadas se presentaron niveles drásticos en los fenómenos del Niño y La Niña en Colombia, es debido mantener identificadas las zonas que pueden presentar un alto riesgo de inundabilidad y en específico en las zonas urbanas, ya que pueden representar una amenaza para la población que esté ubicada allí o en los alrededores de estas zonas.

Este tipo de estudios permiten visibilizar problemáticas que en muchas ocasiones no son tenidas en cuenta, solo hasta que suceden eventos trágicos como pérdidas de vidas, pérdidas económicas, pobreza y desastres, entre otros. Por lo tanto, conocer las áreas de incidencia de este tipo de fenómeno natural puede significar prevenir pérdidas del tipo mencionado.

La zona de estudio para este trabajo es el área metropolitana de Bucaramanga, en el Departamento De Santander, área en la cual están ubicados los municipios de Bucaramanga,

Piedecuesta, Floridablanca y Girón, los cuales se encuentran en las cuencas de los ríos de Oro, Suratá y Frío, en el Valle del Río de Oro. En los últimos 20 años en el área metropolitana se presentaron inundaciones que representaron pérdidas económicas y damnificados, basados en este tipo de sucesos los entes encargados deciden hacer uso de herramientas meteorológicas entre otras, con el fin de prevenir dichos sucesos.

Conociendo estas afectaciones se pretende hacer uso de las herramientas que brindan los Sistemas de Información Geográfica, tal como lo es ArcGis en todo su concepto, este programa permite la modelación y sintetización de mapas e información, y toda la utilidad que se mencionó con respecto a los SIG; entendiendo las herramientas del ArcGis y la problemática mencionada y teniendo en cuenta el objeto de esta investigación surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las áreas o zonas que presentan alta amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones en el área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga?

Esta pregunta de investigación será abordada tratando de establecer los parámetros de seguridad, la productividad en la gestión de los instrumentos GIS, la participación estatal y de la Academia para desarrollar así un pensamiento colaborativo, que garanticen en parte el uso de las herramientas y presente las virtudes que estas herramientas pueden generar para evitar estos acontecimientos en Colombia.

Justificación.

Este tipo de estudios demuestra la utilidad y las virtudes que presentan estos sistemas de información geográfica y sus diferentes módulos, que además permiten realizar análisis e investigaciones para diferentes áreas, y que, en este caso para el área geomática e hidrológica, concederá la identificación de zonas que pueden representar un alto riesgo para la población.

Observando los antecedentes registrados en toda el área metropolitana de Bucaramanga, se hará uso de los conocimientos adquiridos en el manejo de los Sistemas de Información Geográfica y aquellos módulos que de manera integral pueden analizar, definir e identificar aquellas zonas que pueden representar mayor vulnerabilidad y riesgo de inundación. Además, considerando la importancia de que el Estado y la comunidad conozcan aquellas zonas en las cuales se presentan mayores situaciones de riesgo de inundación, esto con el fin de prevenir que ocurran diferentes tipos de emergencias o accidentes como avalanchas, inundaciones urbanas.

Es así como al identificar y analizar a través de este trabajo, las áreas sobre las cuales existen altas probabilidades de riesgo de inundación, se pueden incentivar y generar esas sinergias para a la ejecución de planes de mitigación de desastres o fenómenos naturales, en temas socioeconómicos, viales, industriales, agrarios, ambientales, de salubridad, de derechos de los ciudadanos, entre otros; disminuyendo de esta manera cualquier impacto producido por este tipo de fenómenos. De igual manera, se genera un gran aporte con este proceso de investigación el cual sirve para generar ese punto de partida para otros estudios en otras zonas con posibilidad de riesgo, lo cual puede influir directamente en la realización de planes de ordenamiento territorial.

Estos problemas ejercen una gran y creciente presión sobre la sociedad y entes gubernamentales, sobre el comportamiento y uso del suelo, crecimiento poblacional, sus carreteras, conectividad y sus líneas de deseo, así como problemas geológicos, hidrológicos, entre otros, problemas asociados que podrían verse reducidos si se cuenta con información más precisa y fiable con respecto a las características del terreno, zonas de alto riesgo poblacional y análisis estadísticos de proyecciones que garanticen minimizar los problemas relacionados con las inundaciones en la zona del área metropolitana de Bucaramanga.

Razón por la cual la aplicación de estos recursos tecnológicos son pieza fundamental en el análisis de alternativas para solucionar los problemas de riesgos y amenazas, y se constituyen en una oportunidad para evaluar y modernizar la gestión de riesgo en las zonas con alta probabilidad de sufrir ese tipo de desastres en Colombia.

Objetivo general.

Analizar e identificar las zonas que presentan alto riesgo de inundabilidad en el área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga, haciendo uso de software especializados para el manejo de Sistemas de Información Geográfica.

Objetivos específicos:

Analizar la problemática de gestión de riesgo en las zonas del área metropolitana de Bucaramanga.

Identificar aquellas zonas que pueden ser registradas como sitios con alta probabilidad de inundación.

Determinar la relación de aquellos factores y patrones que inciden en las zonas con alto grado de afectación.

1 Marco Referencial.

Las inundaciones son un fenómeno natural que no son de actual procedencia, son de carácter histórico, estos son causados principalmente por desbordes de ríos, mares, lagos, etc. Puede ser causado por lluvia, tormentas, ciclones tropicales y también puede ser creado por actividades humanas como la construcción en áreas cercanas a los ríos que no siguen las reglas adecuadas, la deforestación cerca de los ríos, etc. (IDEAM, 2014)

Las inundaciones son los sucesos presentados cuando un cuerpo de agua presenta algún tipo de desbordamiento, existe otro tipo de inundaciones que es por encharcamiento que se presenta más habitualmente en las zonas urbanas (ver Figura 1); esto se da cuando el agua de dichos cuerpos pasa a ocupar una zona que habitualmente o antes no estaba ocupada por el hídrico. Según el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER, 2021): este fenómeno es importante en todo el tema de regulación de los sistemas hídricos, como resultado, los cambios en estos sistemas o la ocupación de áreas propensas a inundaciones pueden causar daños o afectaciones.

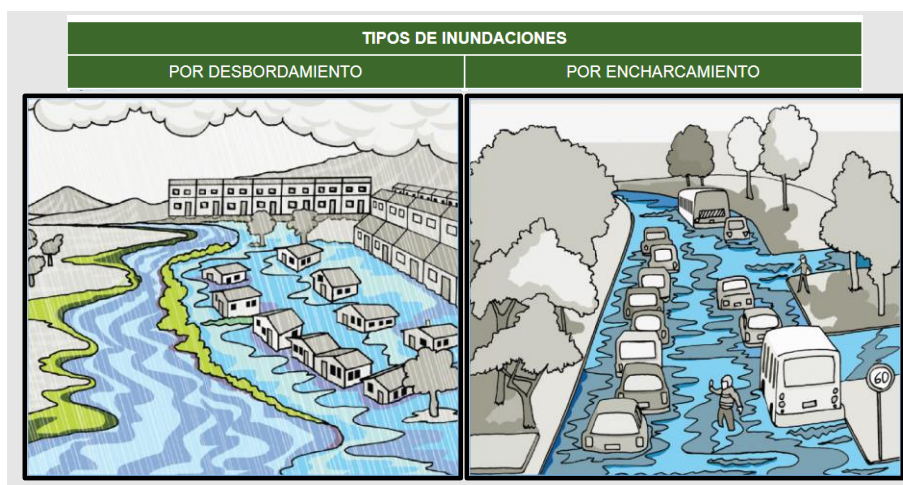


Figura 1. Tipos de inundaciones.

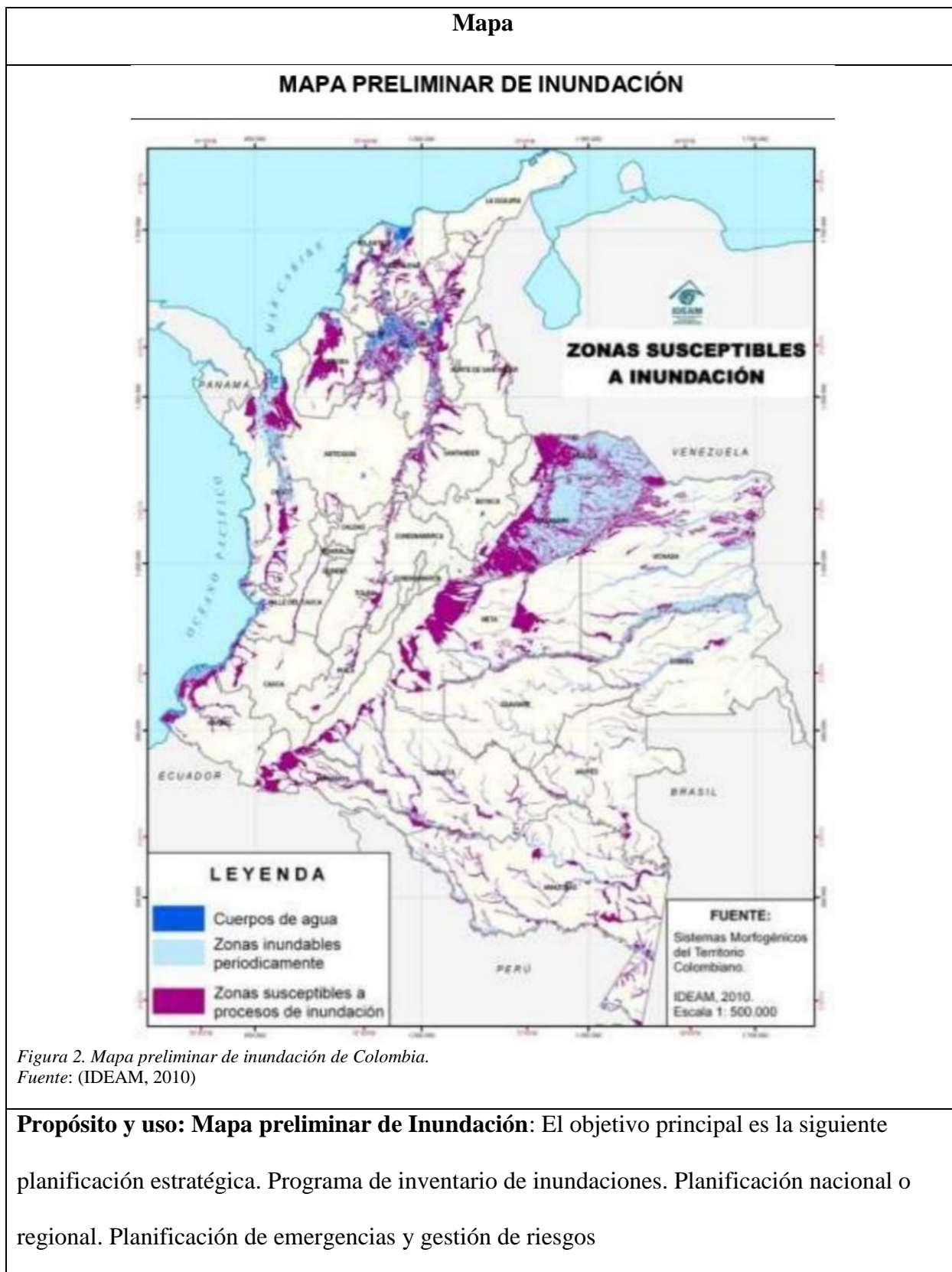
Fuente: El autor basado en la página de (IDIGER, 2021)

En Colombia se presenta continuamente la construcción ilegal de urbanizaciones o edificaciones, es decir, asentamientos humanos no controlados, naturalmente estas no cuentan con estudios necesarios para saber si un terreno es óptimo para desarrollo urbanístico. Entre los factores que se deben considerar a la hora de realizar una construcción, es si el terreno está en una ubicación segura con respecto a riesgos o amenazas de inundaciones por desbordamiento. (Ministerio de Vivienda y Grupo del Banco Mundial, 2014). Para esto se realizan los mapas en los que se analizan los niveles de amenazas que puede tener un área específica. Lamentablemente las personas que tienen necesidad de una vivienda no siempre ven este factor y realizan asentamientos humanos en zonas que cuentan en diferentes niveles de riesgo, vulnerabilidad y amenaza con probabilidad de experimentar una inundación.

Este tipo de actividades pueden ser un factor que incremente la probabilidad de sufrir una inundación, realizando excavaciones incontroladas en los cimientos de las casas o edificaciones, y por el tráfico constante de vehículos de todo tipo.

En Colombia el IDEAM (2010) ha realizado diferentes estudios y mapas de amenaza y riesgo, donde establece las amenazas correspondientes al fenómeno natural de inundaciones, velocidad de flujo, mapa preliminar de inundación, mapa de evento de inundación, mapa de amenaza de inundación, mapa de vulnerabilidad de inundación, mapa de riesgo de inundación, mapa de zonificación de inundación y mapa de emergencia de inundación (ver Tabla 1).

Tabla 1. Memoria descriptiva mapas de inundación Departamento de Santander escala 1:100.000 .



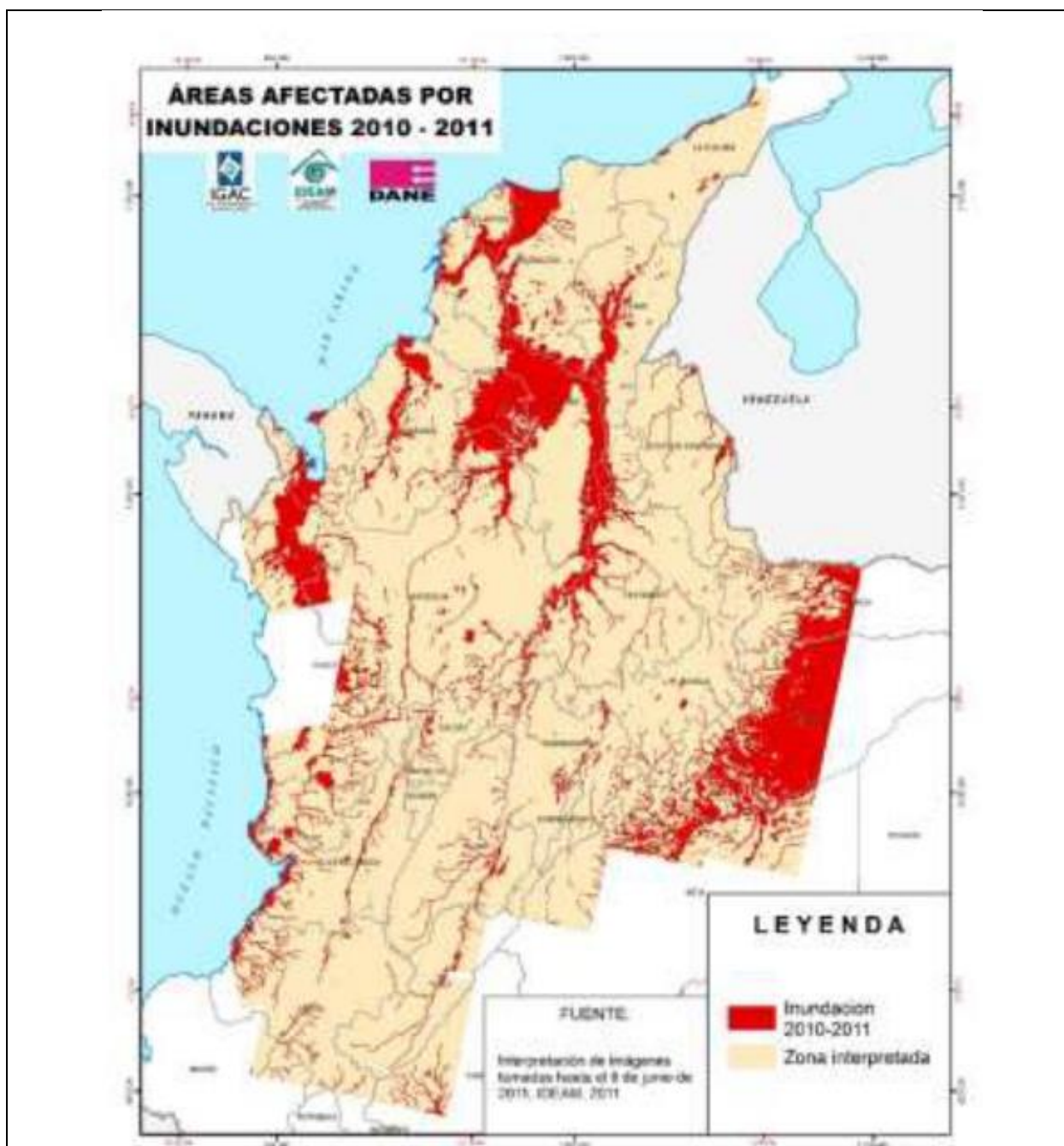


Figura 3. Áreas afectadas por inundaciones (2010-2011).

Fuente: (IDEAM, 2010)

Mapa de Evento de Inundación: Validación de modelos hidrológicos e hidráulicos de mapas de riesgo de inundaciones. Conciencia: Los eventos pasados se pueden utilizar para crear conciencia presentando mapas de peligro (zonas de inundación pronosticadas) para resaltar las amenazas de inundación actuales.



Figura 4. Mapa de profundidades de lámina de agua. Período de retorno de 2.33 años.
Fuente: (IDEAM, 2010)

Mapa de Amenaza de Inundación: Los mapas de riesgo de inundaciones brindan asesoramiento técnico sobre diversos problemas de gestión de las llanuras aluviales y proporcionan información básica para ayudar a las diversas partes interesadas, incluidas las autoridades locales, a tomar decisiones informadas.

Fuente: Elaboración propia basado en información oficial del (IDEAM, 2010)

El IDEAM (2007) en su documento denominado “Memoria descriptiva mapas de inundación Departamento De Santander escala 1:100.000” mencionó que durante los eventos de La Niña en un rango de 26 años hubo en Santander alrededor de 130.000 hectáreas afectadas: “Durante los eventos “La Niña” de 1988, 2000, 2011 y 2012 se vieron afectados por las inundaciones, un promedio de 130,000 hectáreas de la extensión total correspondiente al departamento de Santander. Se caracteriza por lo que fueron afectadas alrededor de 220,000 hectáreas en el año 2011.”. De esta manera se evidencian las afectaciones presentadas en el todo el departamento de Santander, demostrando, así como en este han ocurrido situaciones que implicaban el desarrollo del fenómeno natural de la inundación.

También el IDEAM (2018) en su documento denominado “Estudio Nacional del Agua”, definió e identificó que en todo el territorio nacional existen alrededor de 190.935 km² con

condiciones probabilísticas y geomorfológicas que favorecen la presencia de una inundación. También se encontró en el estudio mencionado: que se ha mostrado una transformación antropogénica de zonas potencialmente inundadas (ZPI) en el país. 34.792 km² de la ZPI de la zona hidrográfica de Magdalena-Cauca se convirtió en áreas agrícolas o en áreas artificiales, que representan 18.2% de la zona. Por otro lado, las transformaciones ZPI en la zona hidrográfica del Caribe alcanzan aproximadamente el 80%.

Entre estas ZPI, se encuentra algunas del área metropolitana de Bucaramanga, sobre todo en el municipio de Girón el cual está ubicado a lo largo del río de Oro y en el cual ya se han presentado varios desastres o acontecimientos en los cuales ha habido damnificados y pérdidas en diferentes sectores. El caso ocurrido hace alrededor de 15 años atrás, que fue denominado como la “Avalancha del Río de Oro” en el cual fueron damnificadas aproximadamente cinco mil viviendas en Girón y Bucaramanga, fue el argumento base para que pusieran en marcha diferentes estudios de amenazas en toda el área metropolitana.

Los estudios realizados en el área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga fueron dirigidos por la organización gubernamental “Área metropolitana de Bucaramanga” (AMB, 2017), que trabaja todo lo relacionado al proceso de identificación, análisis y evaluación de escenarios de riesgo, monitoreo y monitoreo de riesgos y sus componentes y procesos de mitigación y mitigación de desastres, en los municipios de Girón, Floridablanca, Piedecuesta y Bucaramanga, y en alianza con algunas instituciones como la Universidad Industrial de Santander (UIS). Dicha Entidad dirigió los estudios de amenazas de inundación en los cuales se concluyeron que existe probabilidad de inundación en alrededor de 102 barrios de toda el área metropolitana de Bucaramanga.

Además de esto, en el estudio realizado por la organización gubernamental (AMB, 2017) concluyó los periodos de retorno de inundación para cada uno de los ciento dos barrios señalados como amenazados por dicha situación; en los periodos de retorno de inundación se encontró que en dos años aproximadamente el 4% de los barrios serán afectados correspondiente a 47,71 hectáreas, en cinco años se verán afectados el 5% de los barrios que corresponde a 63,69 hectáreas, en 10 años 16% de los barrios del área metropolitana se podrían ver inundados los cuales representan 192,38 hectáreas inundadas. Como se puede observar en la Tabla 2, esta cifra va en aumento con el pasar de los años, esto refleja lo grave que puede ser en la medida que pasen los años pues la afectación se va incrementando.

Descripción	PERIODOS DE RETORNO DE INUNDACIÓN						
	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
Área (Ha)	47.71	63.69	192.38	247.18	285.02	309.51	374.44
Porcentaje afectado de los barrios:	4%	5%	16%	20%	23%	25%	30%

Tabla 2. Periodos de retorno de inundación.

Fuente: El autor basado en el informe del (AMB., 2021.)

De igual manera, el estudio desarrollado por el AMB (2017) en compañía de la Universidad Industrial de Santander (UIS), se encontró como se muestra en la Tabla 3, que en este momento se encuentran en estado de amenaza alta alrededor de 310 hectáreas de barrios dentro del área metropolitana de Bucaramanga y en estado de amenaza media 374 hectáreas.

Amenaza de inundación	Hectáreas de los barrios.	
Alta	310	
Media	374	
Total	684	Equivalente a 923 Canchas de fútbol.

Tabla 3. Amenaza de inundación y hectáreas de los barrios.

Fuente: El autor basado en el informe del (AMB., 2021.)

Una de las cosas que más se resaltan del estudio, es el poder identificar aquel municipio de los cuatro con más probabilidad de sufrir desbordamientos o inundaciones, debido a su

localización a lo largo del río Oro, este es el municipio de Girón, el cual presenta una alta exposición a sufrir inundaciones, en segundo lugar, se encuentra Bucaramanga como la siguiente más expuesta a este tipo de desastres naturales, en tercer y cuarto lugar están Floridablanca y Piedecuesta respectivamente. La zona con más complicación en el tema es la parte occidental del área, esto debido a la gran cantidad de construcciones alrededor del río de Oro, esto fue confirmado en el año 2020 por el director de Gestión del Riesgo de Santander, Cesar Augusto García, donde menciona que: *“es necesario invertir en obras de mitigación, ya que hasta el momento no las hay y las que se han hecho no son suficientes”* (Vanguardia., 2020).

Como se observa en la Figura 5, al norte de la ciudad de Bucaramanga, se encuentra el punto de intersección entre el río de Oro y el río Suratá, el primero se encuentra al lado occidente del área metropolitana de la ciudad y el otro al oriente. (Google Maps. , 2021).

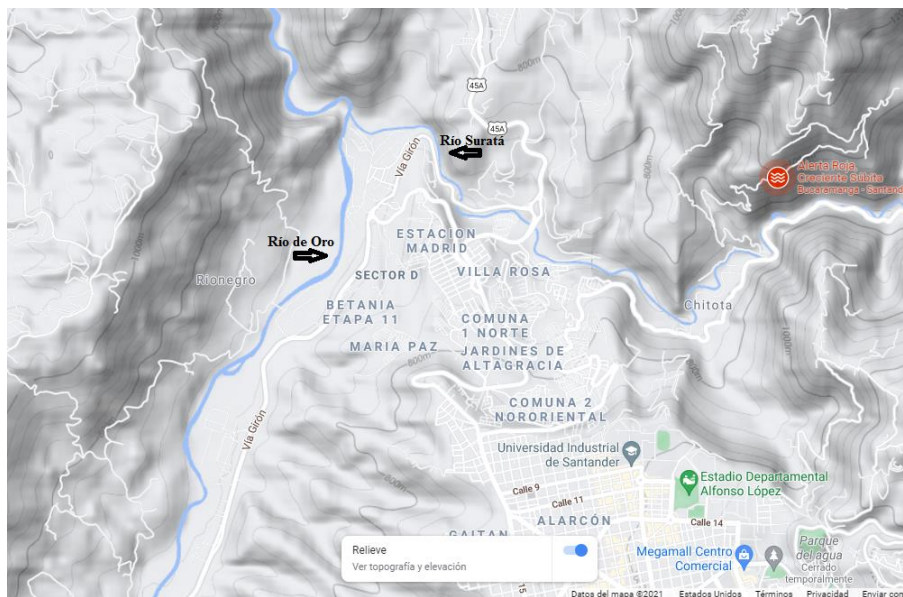


Figura 5. Localización del Río de Oro y Suratá en el área metropolitana de Bucaramanga.
Fuente: (Google Maps. , 2021)

Por otro lado, Río Frío o la Quebrada Agua Blanca, está ubicado en la parte sur del área metropolitana de Bucaramanga (ver figura 6), pasa aproximadamente a 376 metros del parque principal del municipio de Floridablanca y va de oriente a occidente pasando por la parte sur del

municipio de Girón. En el año 2020 el río Frío experimentó un desbordamiento en el municipio de Floridablanca. (Gobierno de Floridablanca, 2021).

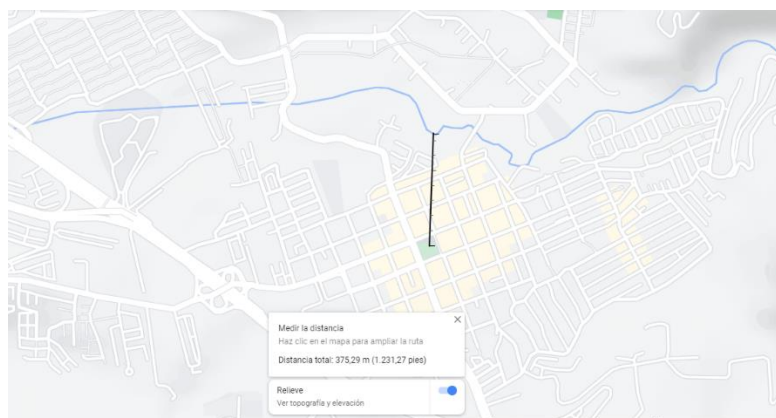


Figura 6. Localización del Río Frío o Quebrada Agua Blanca en el área metropolitana de Bucaramanga.
Fuente: (Google Maps. , 2021)



Figura 7. Mapas urbanos Amenaza por Inundación.
Fuente: (IDEAM, 2014).

Como se puede observar en la Figura 7, (IDEAM, 2014), se referencian todos los municipios o puntos más representativos en los cuales suceden graves inundaciones o que están

ubicados en zonas de alto riesgo, el municipio de Girón es uno de estos, este municipio se encuentra referenciado como uno de los principales del país con Mapas urbanos con amenaza por inundación.

La Universidad Nacional de Colombia (2013), realizó estudios para el municipio de San Juan de Girón, en busca de encontrar las áreas cercanas al Río de Oro que se encuentran en riesgo de presentar una inundación, en los estudios realizados se halló como se muestra en los mapas a continuación (Figura: 8, 9, 10, 11) que la tasa de retorno de 20 años afectará en un porcentaje alto la población que se encuentra ubicada alrededor del río, específicamente al lado oriental de este.

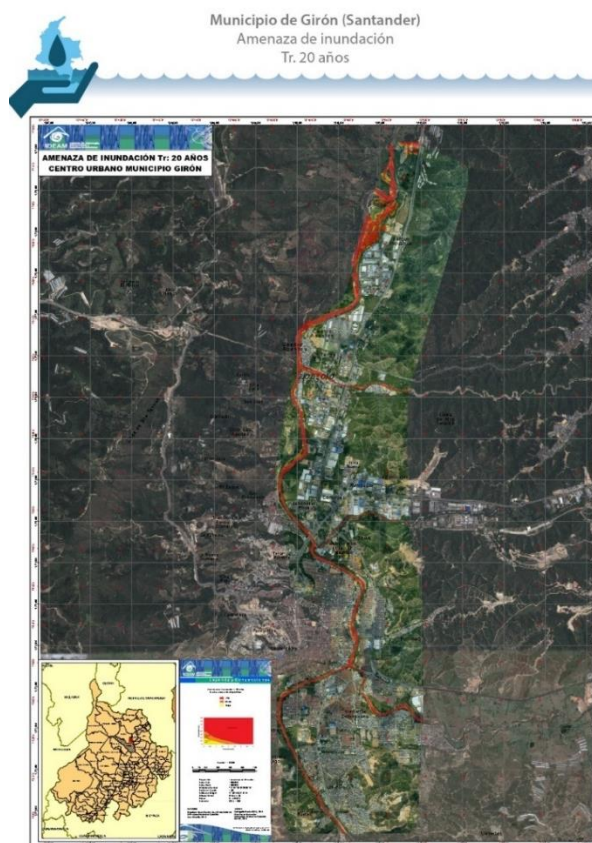
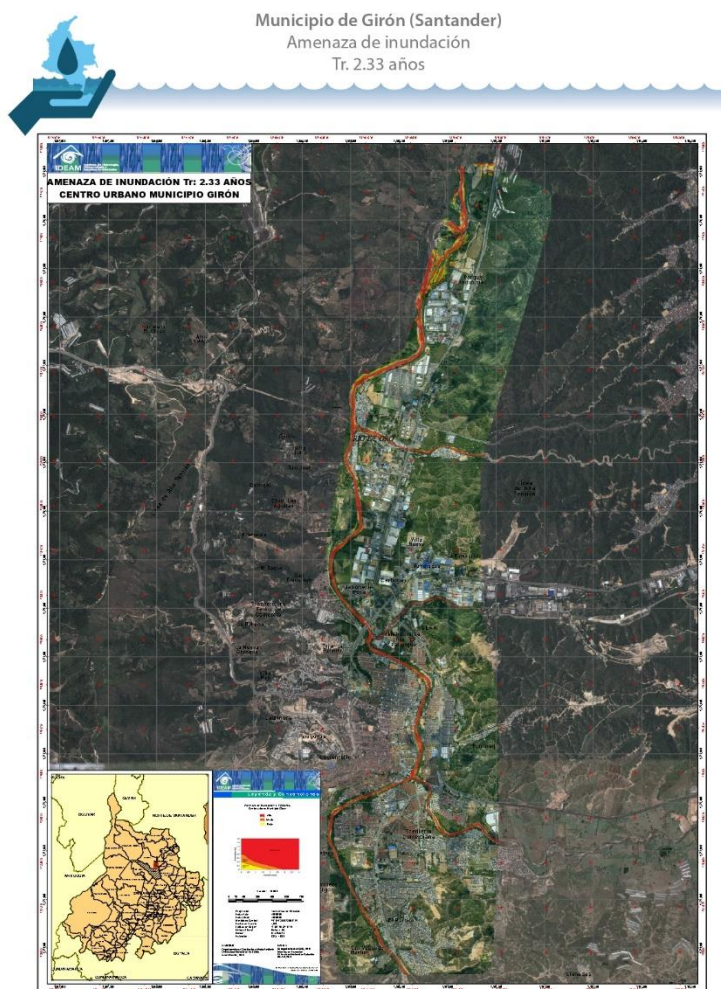


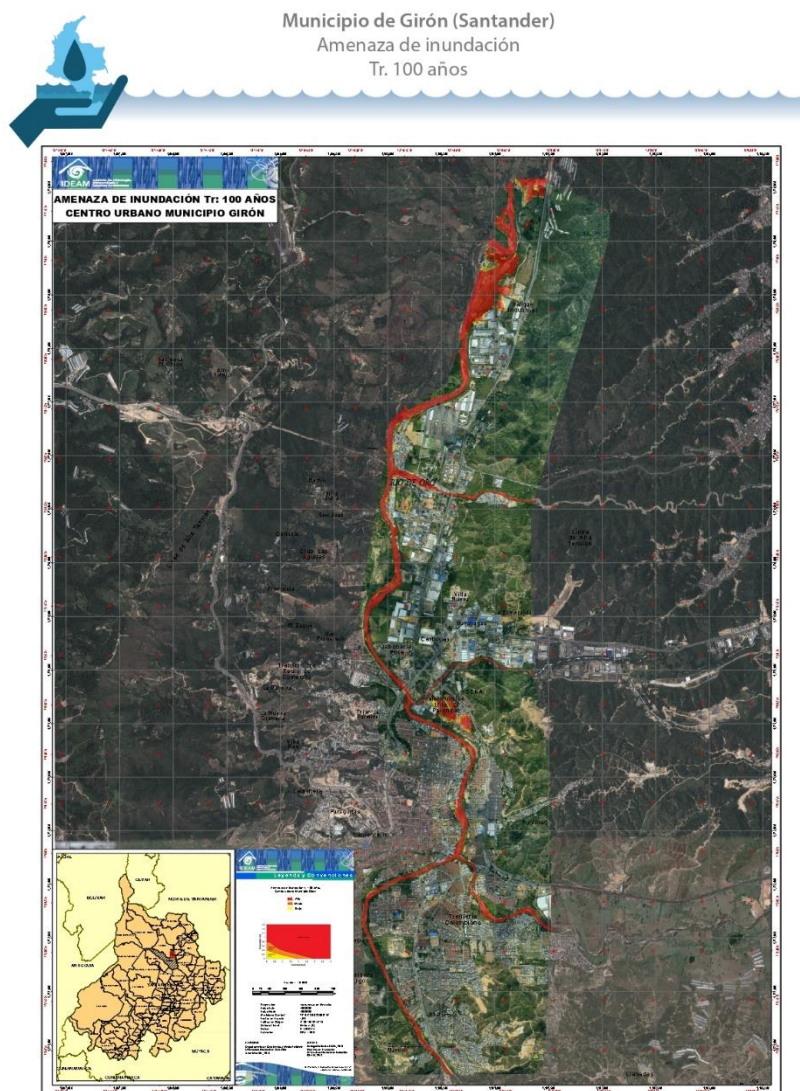
Figura 8. Municipio de Girón (Santander) Amenaza de inundación. Tr. 20 años.
Fuente: (Universidad Nacional de Colombia., 2013)

También realizaron estudios con una Tasa de retorno de 33 años. Como se puede observar en la figura a continuación, las zonas que en gran probabilidad pueden sufrir una inundación y que cuenta con un nivel mayor de amenaza es la misma que en la tasa de retorno de 20 años, afectando en específico la parte norte, central y oriental del municipio de Girón.



*Figura 9. Municipio de Girón (Santander) Amenaza de inundación. Tr. 2.30 años.
Fuente: (Universidad Nacional de Colombia., 2013)*

En la Figura 10, Mapa de la Tasa de retorno de amenaza de inundación de 100 años, se puede evidenciar que el área más afectada sigue siendo la misma, tal vez con algunas variaciones, pero no de gran relevancia, esto demuestra que esta zona ya es una de alta observación y cuidado por este tipo de desastres.



*Figura 10. Municipio de Girón (Santander) Amenaza de inundación. Tr. 100 años.
Fuente: (Universidad Nacional de Colombia., 2013)*

En el municipio de San Juan de Girón que pertenece al área de estudio de este trabajo, el IDEAM ha realizado mapas de amenazas y riesgos de inundación para este municipio, mostrando así un alto nivel de probabilidad de que este desastre ocurra y afecte a una población considerable, esto debido a que el municipio está ubicado a la orilla del río de Oro. También se obtuvo información referente en el mapa: de “Identificación de Fenómenos Amenaza Inundación” presentado en la figura a continuación, como se puede ver, se establecen siete zonas de afectación basado en la tasa de retorno para 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años. Claramente

como se observa en la Figura 11 a medida que el tiempo avanza, el área de influencia sobre el cual puede ocurrir una inundación se hace más grande, tanto que puede afectar en gran medida a la población ubicada en dicha área.

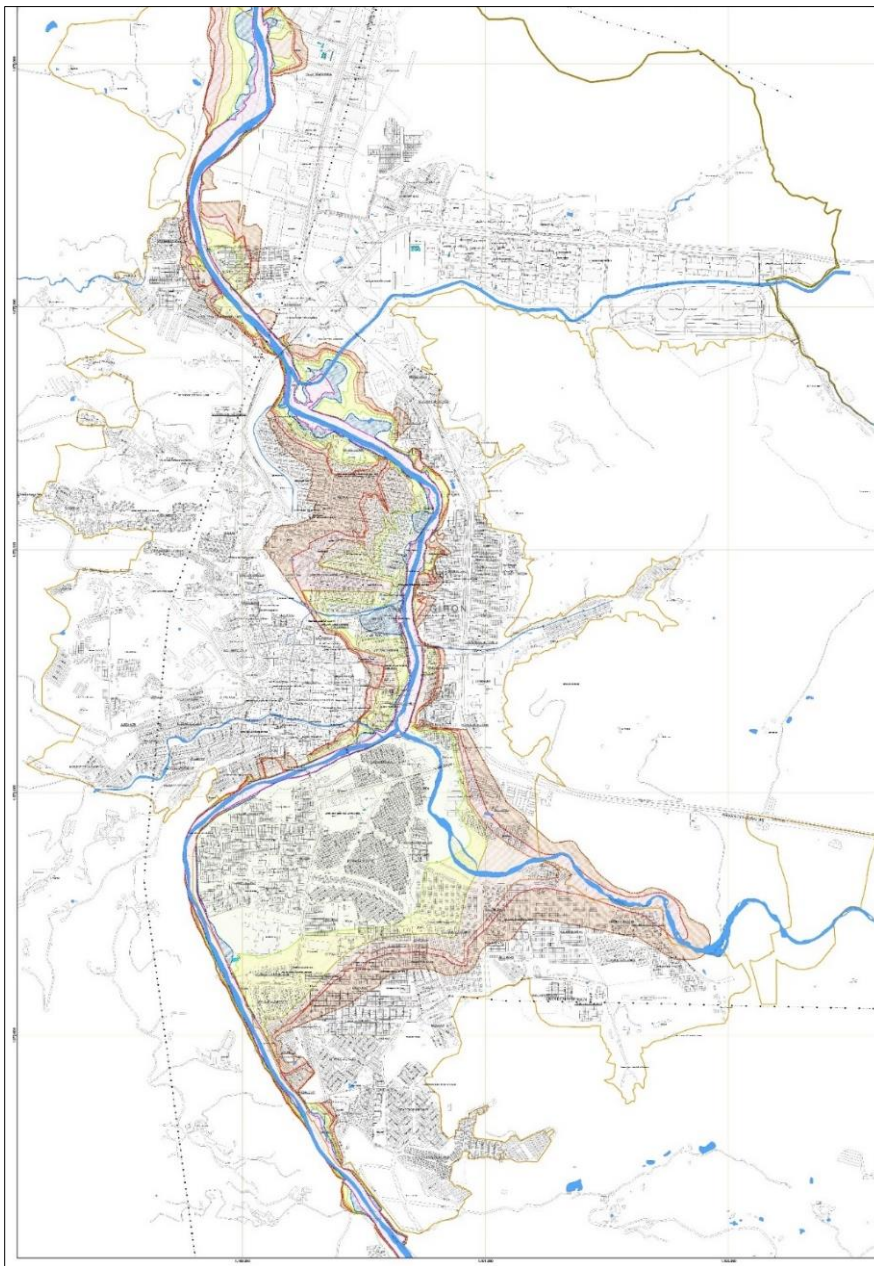


Figura 11. Identificación de Fenómenos Amenaza Inundación.
Fuente: (Alcaldía de San Juan de Girón., 2020)

Convenciones Básicas:		
INFLUENCIA PTAR 1000 M.	CANAL DOBLE	Biblioteca
INFLUENCIA PTAR 300 M.	CARRETERA	Cementerio
INFLUENCIA PTAR 500 M.	CONSTRUCCIONES	Colegio
PLANTA PTAR	DRENAJE DOBLE	Comercio
BANCO DE ARENA	LAGUNA	Deporte
BARRIO	MUNICIPIOS	Entidad Estatal
DUCTO DE HIDROCARBUROS	PISCINA	Estacion de Servicio
GASODUCTO GIBRALTAR	PREDIOS URBANOS	Hospital
GASODUCTO METROGAS	Administración Municipal	Hotel
LINEA DE ALTA TENSION	Asilo	Industria
	Bancario	Museo
		Notaria
		Religioso
		Salud
		Seguridad
		Sitios de Interes
		Turístico
		TANQUE
		ZONA DEPORTIVA
		ZONA RURAL
		ZONA URBANA

Tabla 4. Convenciones básicas de Identificación de Fenómenos Amenaza Inundación

Fuente: (Alcaldía de San Juan de Girón., 2020)

ESTRUCTURAS EXISTENTES	
LINEA DE PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS	
LINEA DE PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS	
LINEA DE PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS	
LINEA DE PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS	
LINEA DE PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS	
LINEA DE PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS	
LINEA DE PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS	

Tabla 5. Leyenda de Identificación de Fenómenos Amenaza Inundación.

Fuente: (Alcaldía de San Juan de Girón., 2020)

2 Diseño Metodológico

El proceso metodológico utilizado se clasifica como un estudio cuantitativo y cualitativo, donde la recolección de información se utilizó para dar alcance a la pregunta de investigación. El proceso de recopilación de información se basa en la recuperación, consulta y documentación de información contextual relevante para los objetivos clave del proyecto. Por lo tanto, se presenta el siguiente diseño metodológico, donde se establece una relación clara y concisa de cada una de las etapas en la intervención del proyecto con el fin de dar cumplimiento al objetivo principal mediante el desarrollo de cada capítulo.

Es indispensable mencionar que el sistema de coordenadas usados para el desarrollo del trabajo mediante el programa ArcMap, es el sistema GCS: Geographic Coordinate System, MAGNA: Marco Geocéntrico Nacional de Referencia y SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. También se toma como centro el punto Magna Bogotá, debido a la cercanía de la zona a dicho punto.

Estos son los pasos que se seguirán para desarrollar el análisis y la identificación de las zonas con alto riesgo de inundabilidad en el área metropolitana de Bucaramanga (AMB):

2.1 Fase Metodológica 1.

Analizar la problemática de gestión de riesgo en las zonas del área metropolitana de Bucaramanga.

Actividad 1: Elaborar una revisión bibliográfica del estado del arte o marco conceptual, teniendo en cuenta los aspectos más relevantes, el alcance, logros y experiencias obtenidas relacionadas con el estudio.

- Realizar la revisión en plataformas o repositorios académicos de los antecedentes relacionados con el planteamiento del problema.
- Revisar logros y experiencias obtenidas relacionadas con el estudio en entidades gubernamentales.
- Revisión de problemáticas actuales sobre fenómenos similares en el país y en la zona de estudio.

Entregable fase metodológica 1: se presenta toda la información recopilada sobre el planteamiento del problema y sus soluciones realizadas en el país y también específicamente en la zona de estudio. Información que será usada como base para el desarrollo de las siguientes actividades.

2.2 Fase Metodológica 2.

Identificar aquellas zonas que pueden ser registradas como sitios con alta probabilidad de inundación.

Actividad 1: Elaborar la delimitación de las áreas de análisis que cuentan con una alta probabilidad de sufrir riesgo de inundación.

- Delimitación de las zonas de afectación mediante el uso de la herramienta: Google Earth Pro.
- Georreferenciación de las imágenes obtenidas el módulo: Georeferencing.
- Generación de imágenes de sensores pasivos Multibanda (Landsat-8, Sentinel-2) y activos (Radar) y procesarlas.
- Extracción de mapas de imágenes satelitales (obtenidas de las páginas oficiales) mediante uso de imágenes de radar PALSAR (Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar) tomadas por el satélite ALOS.
- Preparación de imágenes a través del módulo de ArcGis: Projections and Transformations.
- Obtención de mapas de amenazas de riesgos geológicos a través del portal del Servicio Geológico Colombiano para el Departamento de Santander.
- Uso del módulo de ArcMap, para la obtención, edición y levantamientos de mapas de los sitios especificados como recurrentes.

Actividad 2: Generación de planos geomáticos, geométricos, topográficos, geológicos (curvas de nivel, sombras o geomorfología), hidrológicos (drenaje sencillo, dirección de flujo, cuencas), modelos digitales de elevación (DEM), entre otros.

- Generación de Modelo de Elevación Digital (DEM) mediante los Stretched, Slope, Contour, Hillshade, Aspect, Curvatura, entre otros.
- Vectorización de información Raster: Definición de escala de trabajo.

- Generación de sistemas de drenaje el cual comprende el área de la cuenca y la red hídrica.
- Procesamiento DEM para hidrología a través de módulos como Flow direction, Sink, Fill, entre otros.
- Composición de imágenes multibanda (multiespectral). Clasificación no supervisada y supervisada de uso y cobertura.
- Elaboración de mapas de amenazas climáticas, geomorfológicos, geológicas y de riesgo.

Actividad 3: Delimitar el área de estudio o las zonas registradas como áreas con alta probabilidad de sufrir inundaciones.

- Delimitación de las zonas con mapas políticos y referenciados.

Entregable fase metodológica 2: Se presentan todos los mapas geológicos, hidrológicos y de amenazas generados con las herramientas de ArcGis y otros programas. Cada uno de los entregables presentados permite establecer una línea de desarrollo previamente establecida en las fases metodológicas. El mapa DEM junto con el mapa Hillshade (sombras) permiten comprender todo lo relacionado con la geomorfología de la zona en la que se estableció el estudio, estos mapas son la base fundamental para proceder en el análisis.

2.3 Fase Metodológica 3.

Determinar la relación de aquellos factores y patrones que inciden en las zonas con alto grado de afectación.

Actividad 1: Extracción, a partir de cada uno de los mapas generados, de datos e imágenes generales y específicas de la problemática estudiada

- A través de ArcGis, se inspeccionan los mapas de manera detallada y se obtienen los datos e imágenes que corresponden a las zonas definidas con alto nivel de probabilidad de inundaciones, de sismos y otras amenazas de tipo geomorfológico, geológico e hidrológico.

Actividad 2: Análisis de los mapas generados específicamente sobre el AMB y así establecer la relación entre los factores y patrones que pueden incidir en las zonas que presentan alta probabilidad de inundación.

- Analizar los datos obtenidos a través de las imágenes generadas y así establecer las áreas mencionadas.
- Análisis de la relación y los factores que pueden influir para que las áreas sean de alta amenaza, riesgo o probabilidad de inundaciones.

Entregable fase metodológica 3: Se presentan los mapas exportados que permiten establecer las relaciones entre los factores y patrones que de alguna manera pueden incidir en aquellas zonas que presentan alta probabilidad de sufrir inundación.

3 Desarrollo del Diseño Metodológico.

3.1 Caracterización de la zona de Estudio

El área metropolitana de Bucaramanga se encuentra ubicada al nororiente del Departamento de Santander, y está conformada por cuatro municipios: Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta (como se puede ver en la figura 12). Dicha área está

localizada sobre el valle del Río de Oro. Inicialmente se tomó una fotografía a través de Google Earth Pro, para luego usarla en el programa ArcGis, en el cual se pudo realizar el proceso de georreferenciación para luego elaborar la delimitación del área de influencia sobre el cual se realiza el presente estudio. (ver Figura 12).



Figura 12. Área de influencia AMB.
Fuente: Elaboración propia.

3.2 Generación de Mapas Geológicos y Geográficos.

Una vez se realiza el proceso de obtención de imágenes de sensores pasivos Multibanda y activos (Radar), se realiza la extracción de los mapas de imágenes satelitales, se obtienen los mapas de amenazas de riesgos geológicos y posteriormente se procede a la generación de los planos geomáticos, geométricos, topográficos, geológicos, hidrológicos, entre otros.

Base fundamental para presentar el Modelo de Elevación Digital (DEM) es el Hillshade (mapa de sombras), luego de generar el mapa DEM se procede a hacer las delimitaciones políticas del AMB sobre el área de influencia el cual servirá como base para

elaborar los demás mapas requeridos para el estudio. Como se puede ver en la Figura 13 extraída del DEM, el área metropolitana de Bucaramanga cuenta con diferentes niveles geomorfológicos.

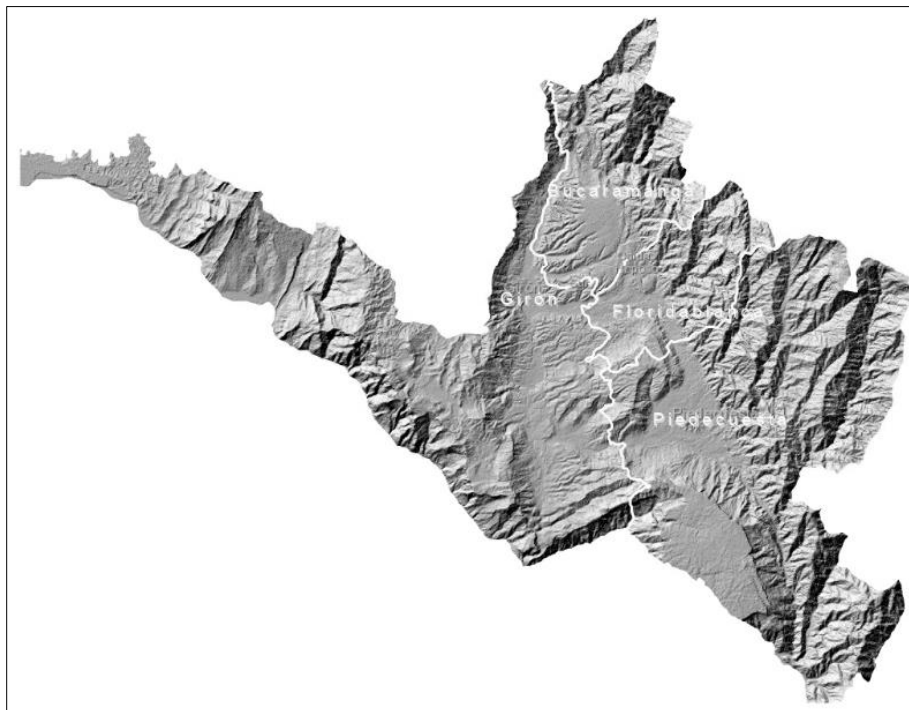


Figura 13. Mapa de sombras sobre político de AMB.
Fuente: elaboración propia.

De igual manera, se puede observar en la Figura 14 y la Tabla 6 (Tabla de valores del DEM), que la altura mínima se encuentra entre los 129 m.s.n.m, hasta un máximo de 3994 m.s.n.m, con una altura media del área metropolitana de Bucaramanga entre los 959 m.s.n.m. Teniendo en cuenta la Figura 14 se puede evidenciar que, en el Valle del Río de Oro, la geomorfología del lugar presenta zonas que son propensas al encasillamiento de cualquier flujo de agua. El río de Oro cruza el AMB de Norte a Sur, al lado occidental de Bucaramanga y por el centro del municipio de Girón.

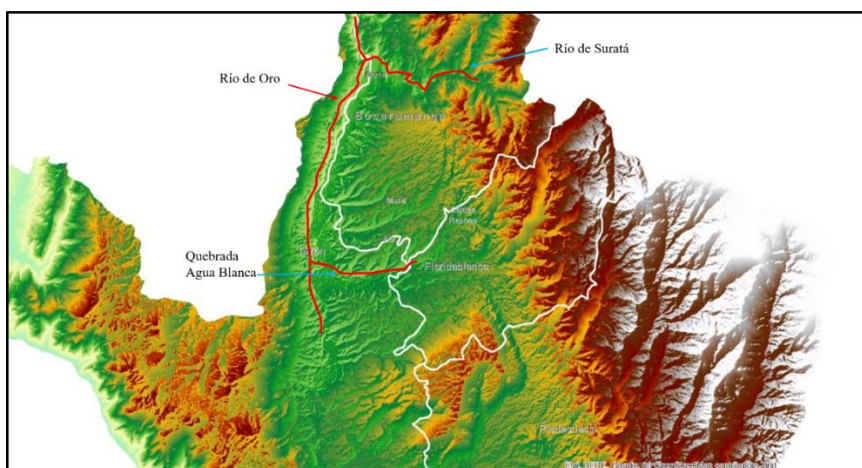


Figura 14. Mapa de DEM-político, cercano.
Fuente: elaboración propia.

La Tabla 6 se presenta con el fin de mostrar las diferencias de altura en esta zona que evidencian una morfología escarpada. El DEM evidencia parte de los factores, como lo es la geomorfología, que implica que un lugar presente probabilidades altas de inundación.

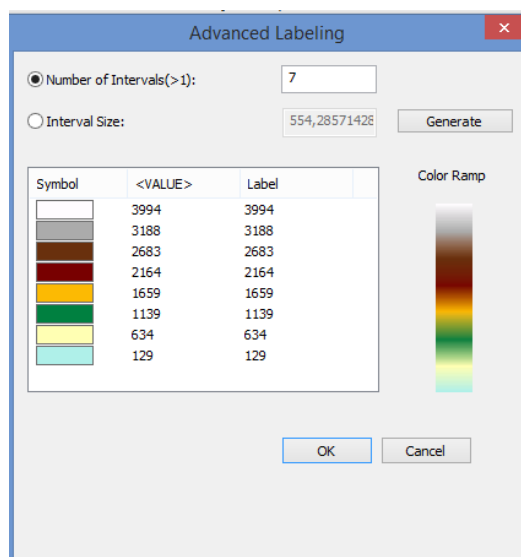


Tabla 6. Valores del DEM en el AMB.
Fuente: elaboración propia.

Es de aclarar que los demás mapas se mostrarán enfocados en la zona principal del área metropolitana de Bucaramanga, es decir, en el área urbana ubicada en el mapa, ya que si se muestra todo el territorio de los cuatro municipios no se podría observar de cerca las zonas principales de estudio.

En la figura 15 se puede observar el mapa de curvas de nivel sobre mapa de sombras con los límites políticos de los cuatro municipios del AMB haciendo uso del módulo de ArcGis (Contour). Este mapa provee de información topográfica para el análisis de las zonas con alto nivel de probabilidad de inundación, las curvas de nivel establecen y muestran el área del Valle del Río de Oro, lugar en el cual se encuentran ubicadas las zonas urbanas de los cuatro municipios.

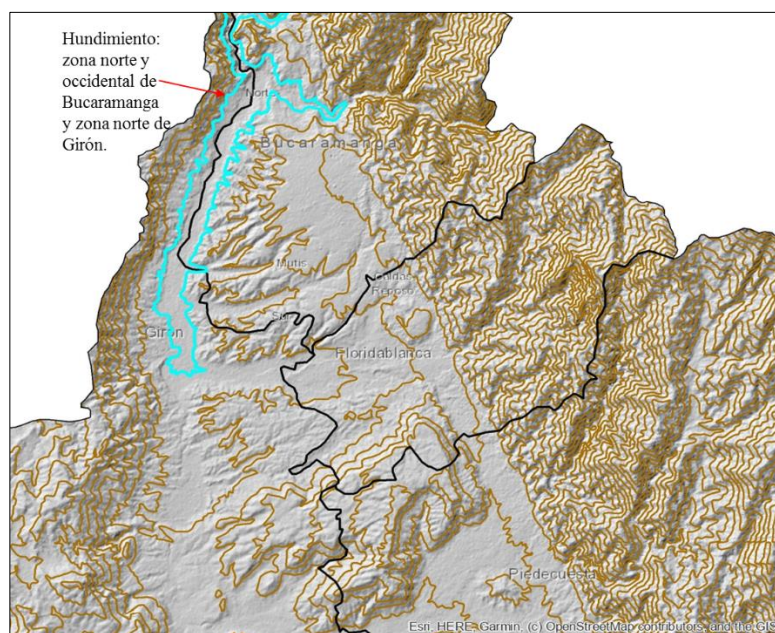


Figura 15 Mapa de curvas de nivel sobre mapa de sombras-político - cercano.
Fuente: elaboración propia.

También se puede observar en color azul que se resalta la zona de curso del río de Oro, que es causante principal de las inundaciones en estas zonas. De igual manera se observa que al lado noroccidental de la ciudad de Bucaramanga y norte de Girón se presenta un hundimiento que es el lugar por el cual corre el río de Oro.

Posteriormente, se procede a generar el mapa de suelo con sus respectivos climas y su respectiva tabla de leyenda (ver figura 16 y tabla 7), en este se puede verificar principalmente una parte del área urbana dentro de la zona definida en color azul, esta información es la obtenida a través del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), del

Sistema de Información ambiental de Colombia (SIAC) y del Servicio Geológico Colombiano (SGC) a escala 1:100.000, con respecto a la capacidad de uso de tierras y en el mapa de suelos, el uso y cobertura del suelo y el shapefile de geología respectivamente (a la cual se le hizo el proceso de actualización al área urbana, por parte del autor de este estudio). Para hacer el análisis más profundo, se pretendía generar un mapa del perfil del terreno en diferentes sectores, no obstante, no fue posible su desarrollo dadas las limitaciones de licencia para el uso del programa.

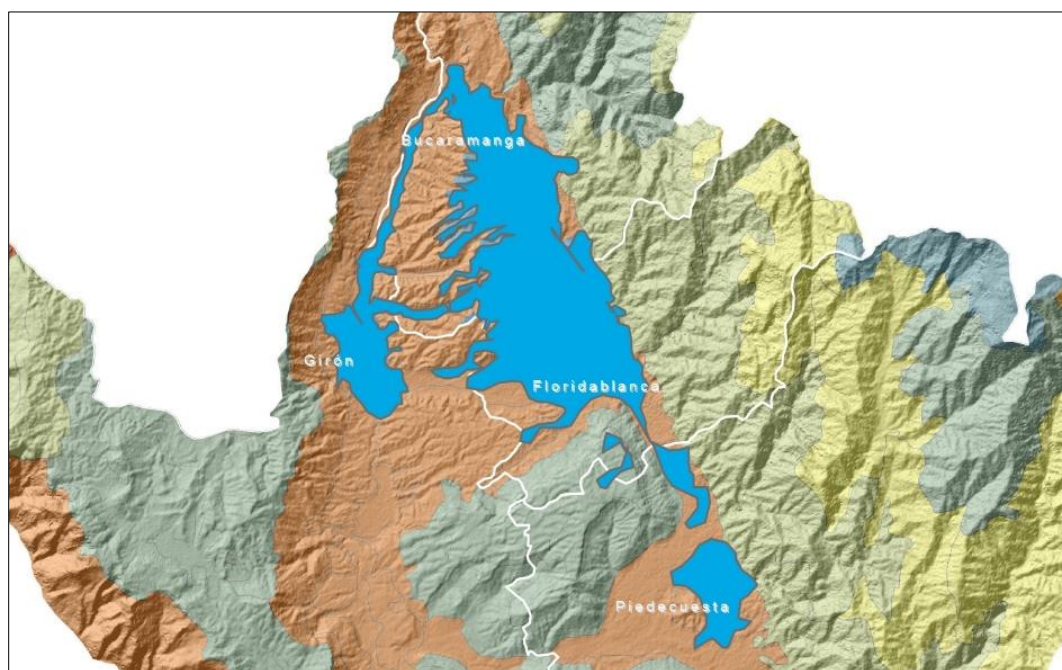


Figura 16. Mapa de suelo con sus climas y áreas urbana.
Fuente: elaboración propia.

	Cálido, húmedo y muy húmedo	Cálido, húmedo y muy húmedo
	Cálido, seco	Cálido, seco
	Extremadamente frío, húmedo	Extremadamente frío, húmedo
	Frío, húmedo y muy húmedo	Frío, húmedo y muy húmedo
	Medio, húmedo y muy húmedo	Medio, húmedo y muy húmedo
	Medio, seco	Medio, seco
	Muy frío, húmedo y muy húmedo	Muy frío, húmedo y muy húmedo
	Zona urbana	Zona urbana

Tabla 7. Leyendas del mapa de suelos con sus climas.
Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente la Figura 16 permite visualizar el tipo de clima que presenta la zona de estudio, por ejemplo, permite identificar la duración de la luz solar, el tipo de viento, la frecuencia o intensidad de la lluvia, este tipo de situaciones vienen dictados por la zona climática y deben tenerse en cuenta a la hora de realizar algún tipo de construcción, de igual manera se puede identificar que en gran parte el área metropolitana de Bucaramanga, es decir, el área urbana, se encuentra rodeado principalmente por un clima Extremadamente frío, húmedo, Medio, húmedo, muy húmedo.

Una vez realizado este proceso, se procede al desarrollo del mapa de pendientes a partir del DEM (ver Figura 17), donde se pueden ponderar el riesgo de amenaza por avenidas torrenciales, avalanchas y remoción en masa (derrumbes). Usando la información mencionada anteriormente se procede a generar el mapa donde se unen los valores generados por las pendientes con el mapa de geomorfología generado a través de la información mencionada. El mapa de unión de pendientes se obtiene al unir estos dos mapas (mapa de pendientes y mapa de geomorfología) y superponerlos sobre el Hillshade (mapa de sombras), esto nos permite detallar el Valle del Río de Oro sobre el cual está construida toda el AMB, se puede observar los hundimientos y las pendientes altas alrededor del lugar por el cual corre de Norte a Sur el río de Oro de acuerdo a la interpretación de los rangos identificados en las tablas 8 y 9, de igual forma, se puede interpretar el límite entre Bucaramanga y Girón en la parte Occidente de Bucaramanga, esto nos permite observar dichos hundimientos que aumentan el riesgo de inundación en dicha área, ya que esta zona es un corredor de cualquier tipo de aumento de caudal o en caso de experimentar fuertes lluvias.

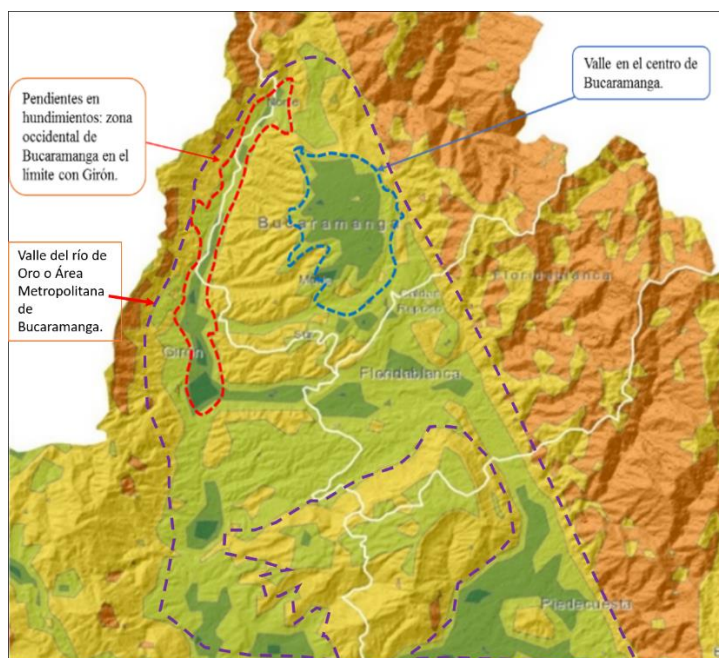


Figura 17. Mapa de unión de pendientes-geomorfología sobre sombras AMB.

Fuente: elaboración propia.

<Heading>	Pendent_1
A	A
B	B
C	C
D	D
E	E
F	F

Tabla 8. Leyenda de mapa de pendientes.

Fuente: elaboración propia.

CÓDIGO IGAC	PENDIENTES (%)	PONDERACIÓN
a	0 - 3 %	MUY BAJO
b	3 - 7%	BAJO
c	7 - 12%	MEDIO BAJO
d	12 - 25%	MEDIO
e	25 - 50%	MEDIO ALTO
f	50 - 75%	ALTO
g	mayor de 75%	MUY ALTO

Tabla 9. Ponderación de pendientes.

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 9, en el área de estudio se presentan zonas con pendientes desde 3-7% (B) a 50-75% (F) que en ponderación son desde Bajo hasta Alto. En el área por el cual transita el río de Oro se puede observar que está rodeado por zonas con pendientes que pasan de Medio a Alto, es decir que al occidente se encuentra con una montaña,

esto incrementa el tipo de amenaza, ya que es propenso a desarrollar inundaciones, avenidas torrenciales, avalanchas y remoción en masa (derrumbes), entre otros. Esto también se puede evidenciar al oriente de toda el AMB, ya que se puede percibir como esa zona presenta zonas con altas pendientes desde nivel Medio (12-25%) hasta Alto (50-75%).

También es posible observar a través del mapa de unión de pendientes que en el centro del mapa de Bucaramanga, se presenta un valle con ponderación Baja a Muy Baja, lugar que está rodeado por pendientes que están ponderadas en Medio Bajo a Medio, esto implica que la zona es propensa a las inundaciones.

Usando el mapa obtenido a través de Google Earth Pro, luego de generar los cortes y delimitaciones de los cuatro municipios pertenecientes al área de estudio (en color blanco) y utilizando el mapa de fallas (en color azul oscuro) sobre el área de estudio, nos da como resultado el mapa de fallas de la figura 18. Es importante destacar que toda el área metropolitana de Bucaramanga se encuentra ubicada en medio de dos líneas de fallas principales, fallas que se encuentran activas y como se puede observar, cruzan directamente por el área de estudio, convirtiendo esta zona en región de alta amenaza sísmica, debido en primer lugar a la alta sismicidad de la región, además de ello la geología de los materiales son propensos a este tipo de fenómenos y la morfología de altas montañas también aportan a esto.

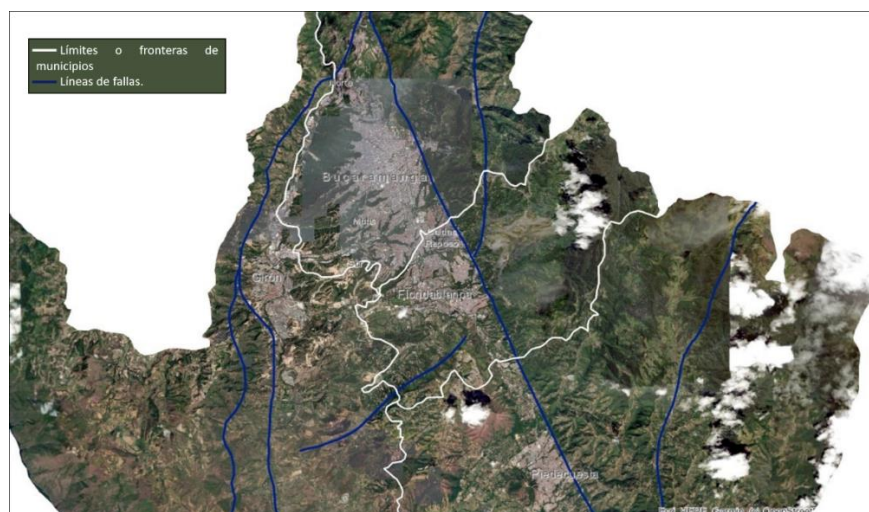


Figura 18. Mapa de fallas sobre el AMB y AI_SAS Cercano.
Fuente: elaboración propia.

A partir del mapa anterior, se genera el mapa de fallas superponiendo al mapa de unión de pendientes y geomorfología y de sombras, esto con el fin de poder observar de mejor manera la zona de afectación de las líneas de fallas sobre el área, observando que la línea que pasa por el sector occidental del AMB pasa justo al lado de la zona por la cual transita el Río de Oro, esto incrementa la amenaza de remoción de masa, creación de avenidas torrenciales e inundaciones.

En la Figura 19 se puede observar cómo múltiples factores al juntarse incrementan el nivel de amenaza o riesgo de inundación y la probabilidad de que suceda.

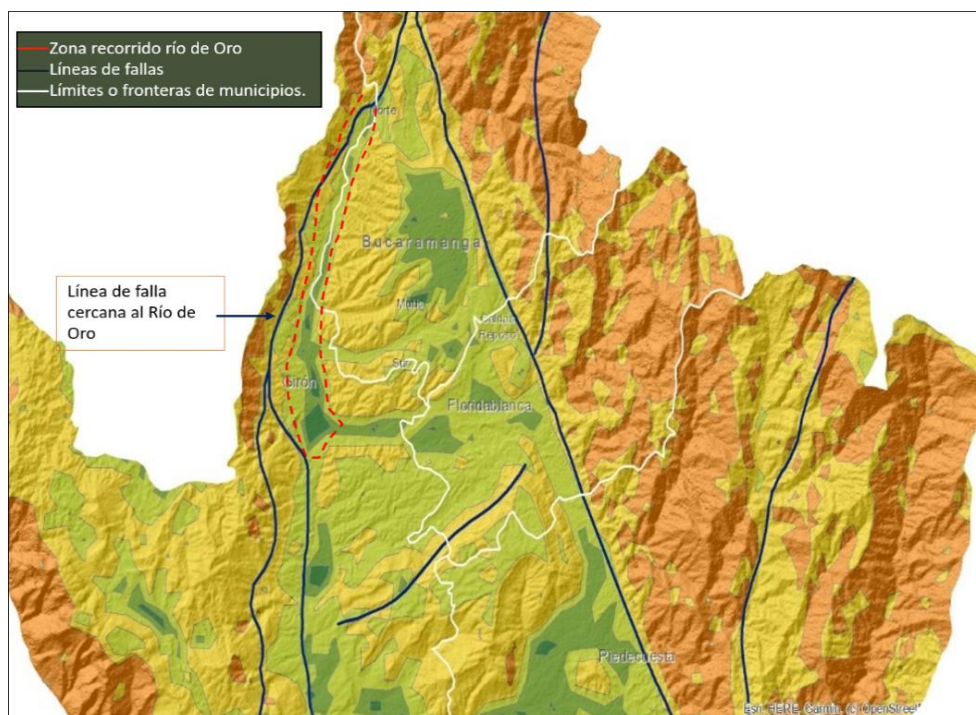


Figura 19. Mapa de fallas sobre mapa de unión-pendientes-geomorfología y sombras AMB.
Fuente: elaboración propia.

Con el fin de presentar no solo el nivel de amenaza, también se busca ejemplificar el nivel de impacto en varias áreas de la sociedad que se encuentra allí. Es por ello que se presenta el mapa de vías principales superpuesto sobre el mapa de sombras (Hillshade) (ver figura 20), esto nos permite observar cómo la zona de estudio presenta altos niveles de afectación en diferentes áreas, en este caso en el área socioeconómica de la zona, ya

que el nivel de afectación de las inundaciones implica la alteración de la conectividad vial del AMB.

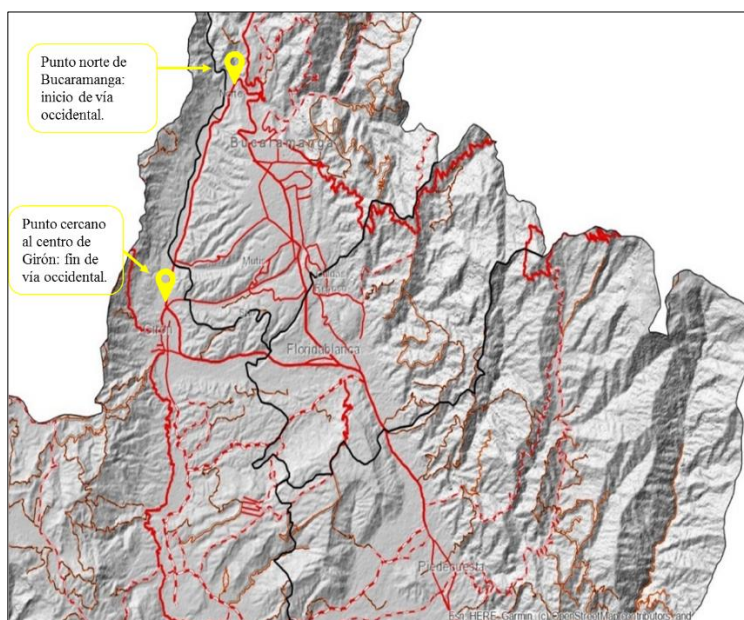


Figura 20. Mapa de vías principales sobre sombras.
Fuente: elaboración propia.

3.3 Generación de Mapas Hidrológicos del Área de Estudio.

Los mapas hidrológicos generados sobre el área de influencia se obtuvieron usando los módulos de ArcGis como: Basin, Fill, Flow Accumulation, Flow Direction, Stream Order, entre otros. Haciendo uso de la información recolectada se generan sobre el área de influencia las cuencas y se extraen haciendo uso del módulo Clip, esto para poder entender en cuál de estas cuencas se encuentra ubicada el área metropolitana de Bucaramanga, una vez desarrollado se pudo observar que esta zona pertenece a las cuencas del Rio de Oro, Suratá y Frío previamente localizados, cuenca que se muestra en color amarillo, y que se ve claramente en la figura 21.



Figura 21. Mapa de cuencas sobre el AMB total.
Fuente: elaboración propia.

En la figura 22 también se presenta el mapa de cuencas, pero más cercano al área de estudio, incluyendo el Basemap provisto por el programa ArcGis, en él se puede identificar el área metropolitana de Bucaramanga en color grisáceo.

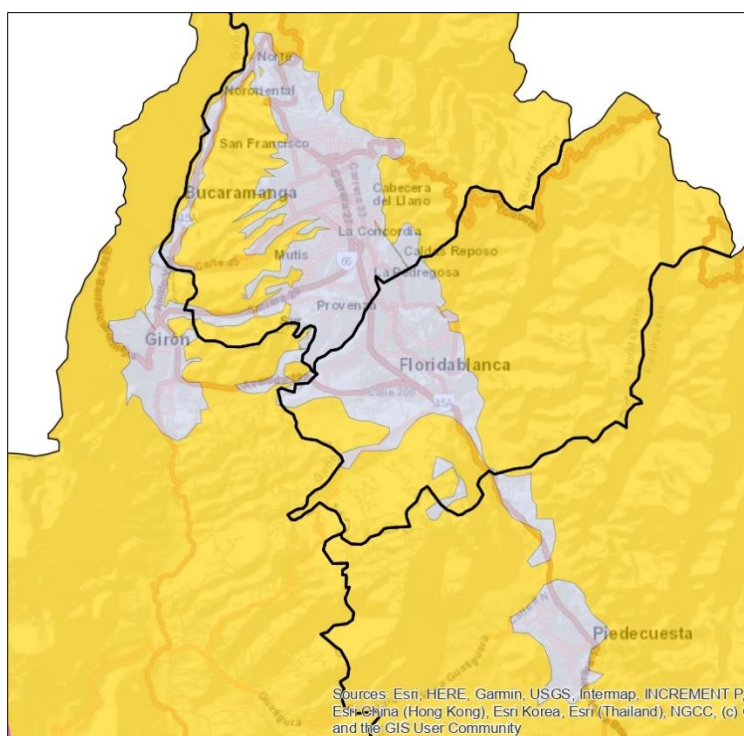


Figura 22. Mapa de cuencas sobre el AMB cercano, sobre Basemap.
Fuente: elaboración propia.

Cómo se puede observar los marcadores de color amarillo indican que por el occidente de Bucaramanga transita una de las vías principales que conecta el Norte de Bucaramanga con el municipio de Girón sin necesidad de cruzar toda la ciudad de Bucaramanga, si no, que permite ser rodeada.

Posteriormente se procede a modelan el mapa de Drenajes sencillos de toda el AMB (ver figura 23), y el mapa de Drenajes sencillos (ver figura 24), enfocado en el área de influencia y superpuesto sobre el mapa de sombras (hillshade) y el área urbana delimitada en color rojo. En la figura 23 es posible observar las zonas por las cuales se pueden de acuerdo con la geomorfología del lugar drenar toda esorrentía; y al analizarlo junto con la figura 24 se puede ver claramente como en la zona occidental del mapa, sobre el sector del río de Oro, que alrededor del mismo toda esorrentía corre hacia él hacia la parte central del municipio de Girón, lo mismo sucede con el municipio de Piedecuesta, ya que la morfología del lugar hace que la esorrentía lo rodee. En el caso del municipio de Floridablanca, también está ubicado en una zona que permite el drenaje

por el norte de este, por el Río Frio, pero que también en crecientes pueden generar, esto se evidenciará más adelante en los mapas de amenazas.

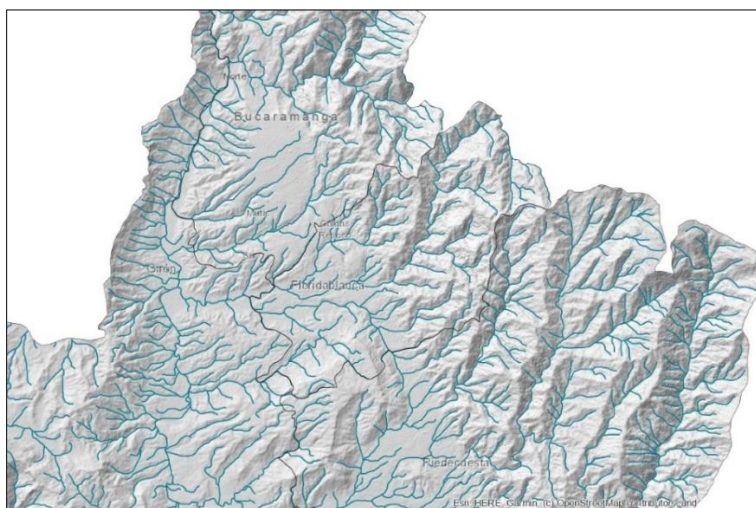


Figura 23. Mapa de Drenajes sencillos sobre sombras cercano.
Fuente: elaboración propia.

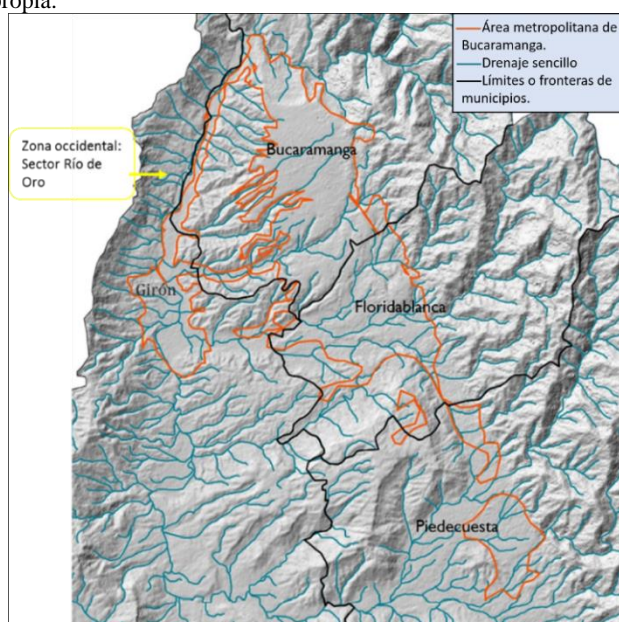


Figura 24. Mapa de drenajes sencillos sobre sombras y área urbana cercano.
Fuente: elaboración propia.

Haciendo uso de la información recolectada se genera el mapa de dirección de flujo (ver figura 25), elaborado a través del módulo Flow Direction, el cual permite observar la dirección de flujo que puede presentarse de acuerdo con la morfología del lugar, esto permite observar las zonas sobre las cuales se pueden generar inundaciones o

las zonas en las que existen áreas que permiten la acumulación flujos, conllevando de esta manera a algún tipo de inundación.

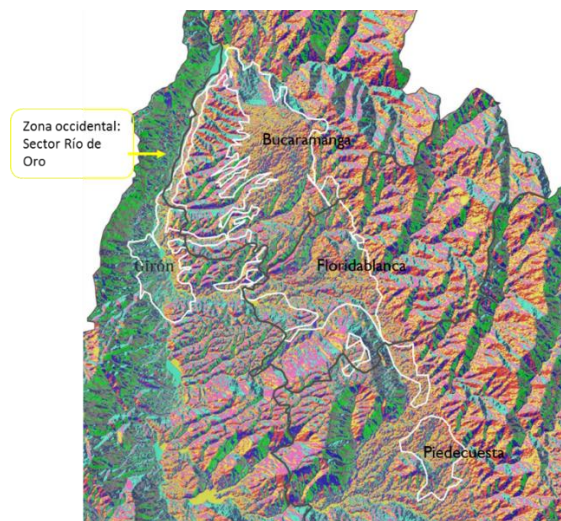


Figura 25. Mapa de dirección de flujo cercano.
Fuente: elaboración propia.

3.4 Generación de Mapas de Amenazas

Los mapas de amenazas proveen la información requerida para entender el nivel de amenaza o riesgo que un lugar tiene para algún tipo de desastre natural u otro. En este caso se presentarán los niveles de amenaza de lluvia, de sismo y la suma de ambos, con el fin de evaluar el riesgo presente en el área de estudio. Esto se pudo realizar haciendo uso de los datos de medición obtenidos de la página del Servicio Geológico Colombiano (2021) y de las herramientas de ArcGis.

De esta manera se presenta el mapa de amenazas de lluvias para el AMB (ver figura 26), del cual se puede observar las zonas que más cantidad de lluvias puede presentar, se presentan en un mapa superpuesto, en este se utilizó el mapa de amenazas de lluvias sobre el mapa de sombras para aportar morfología al mapa, la delimitación del área urbana en color rojo y la delimitación de los municipios en color blanco. La leyenda

(ver Tabla 10) de mapa de lluvias permitir identificar las zonas con mayor nivel de amenaza desde 3 a 10.

En la zona occidental donde pasa el Río de Oro se presentan niveles entre 5 a 7, los cuales son considerados altos, como se puede ver en la figura 26, en ese sector se encuentra ubicado a lo largo del río una parte del área urbana de Bucaramanga y el municipio de Girón, además de esto a lo largo de río se puede ver la morfología del lugar, que implica que en caso de inundación allí, el agua se dirija hacia el centro del municipio de Girón. También es posible notar que en toda el AMB se presentan los niveles de amenaza de lluvia desde 5 hasta 7. Toda el área en el cual está ubicado el municipio de Floridablanca y Piedecuesta presenta dichos niveles de amenaza de lluvia.

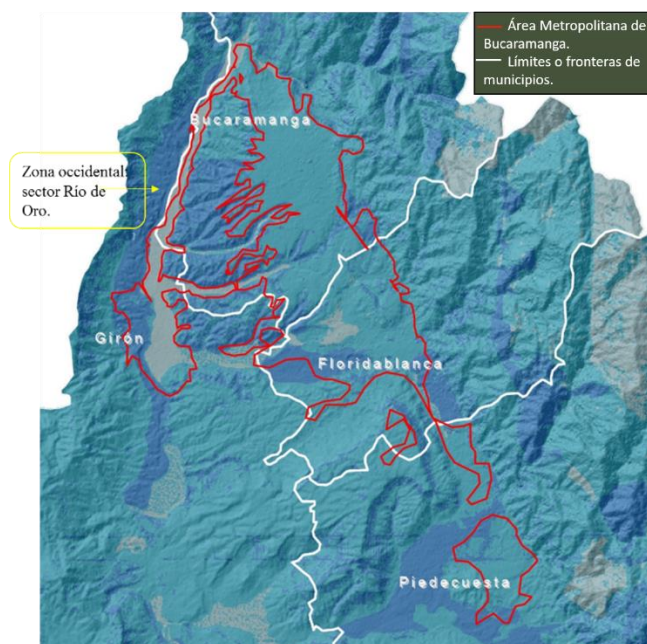


Figura 26. Mapa de amenazas de lluvias sobre sombras con delimitación urbana y política.
Fuente: elaboración propia.









Symbol	<VALUE>	Label	Count
	10	10	311
	9	9	734780
	8	8	3152798
	7	7	4536400
	6	6	16901424
	5	5	6082886
	4	4	633595
	3	3	5930

Tabla 10. Valores Amenaza de lluvia AMB. SGC

Fuente: elaboración propia.

Es así como se procedió a marcar las áreas más afectadas de toda el área metropolitana o que presentan un nivel mayor a 4, es decir de medio hacia arriba, como se puede ver en la figura 27. Esto se realizó dejando en el AMB en color rojo sombreado las áreas con nivel de amenaza de lluvia de 5 a 7. Esto permite observar las zonas propensas a sufrir inundaciones y es notable como afectan toda el área occidental de Bucaramanga, el norte y centro de Girón, los alrededores al occidente de Piedecuesta.

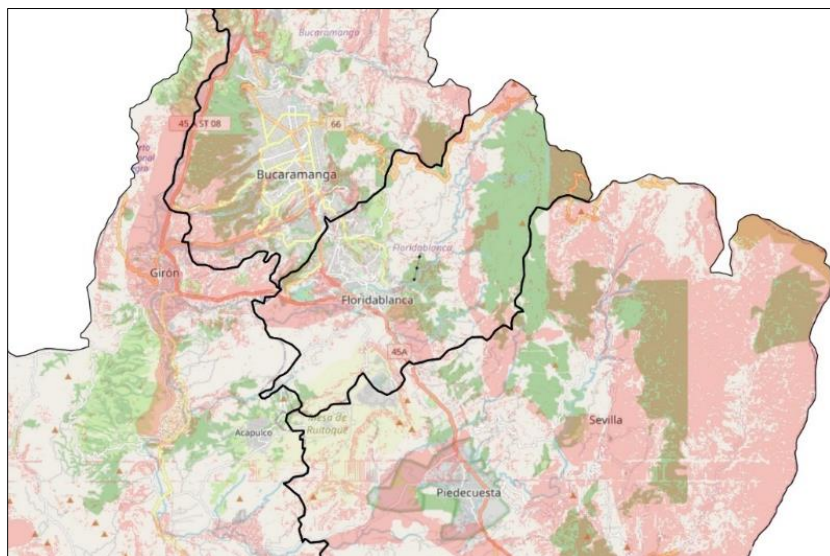


Figura 27. Mapa Ame_lluvia sobre imagery general. Nivel 5 y 7 de amenaza.

Fuente: elaboración propia.

Para ver la afectación más claramente se mostrarán los mapas de amenazas de lluvia para cada municipio del AMB (figura 28, 29 y 30). Este mapa es claro mostrando las áreas con el nivel alto de amenaza de inundaciones.

En la Figura 28, se puede observar las áreas afectadas de Bucaramanga y la parte norte de Girón, en un mayor nivel las áreas al occidente, alrededor del río de Oro.

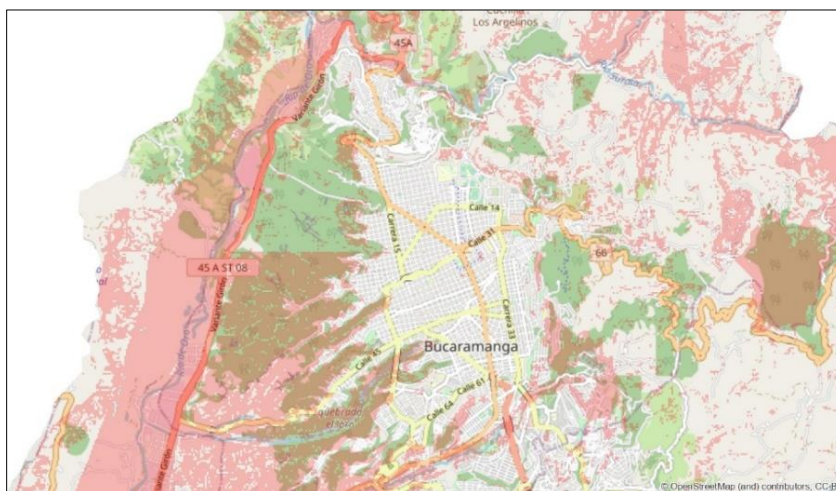


Figura 28. Mapa Amenazas de lluvia sobre imagery. Área occidental de Bucaramanga.
Fuente: elaboración propia.

En la figura 29, se muestran las áreas más afectadas en el centro del municipio de Girón y la parte suroccidental de Floridablanca.

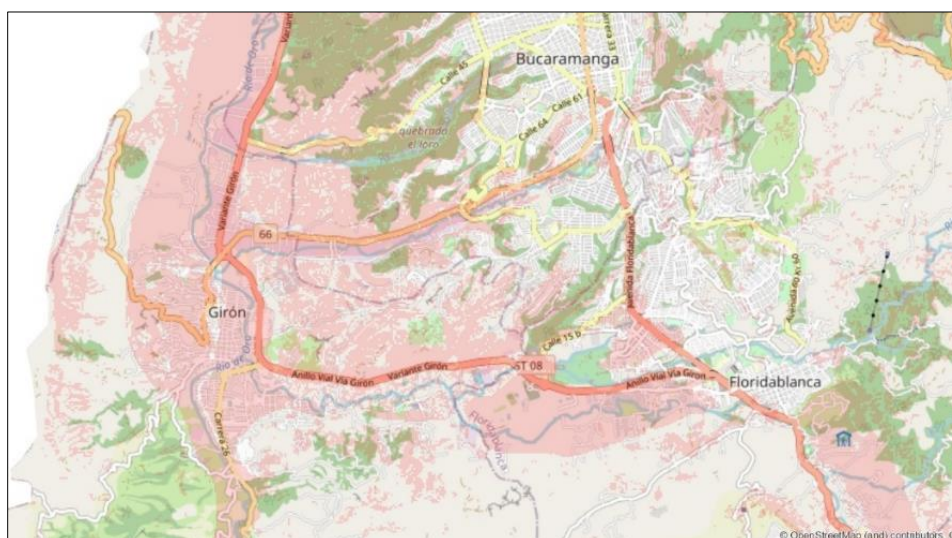


Figura 29. Mapa Ame_lluvia sobre imagery Girón y Floridablanca. Nivel 5 y 7 de amenaza.
Fuente: elaboración propia.

Por último, se presenta el mapa de amenazas de lluvias para el municipio de Piedecuesta (figura 30), como se puede observar también se ve afectado por el lado norte, occidental y una pequeña parte al sur.

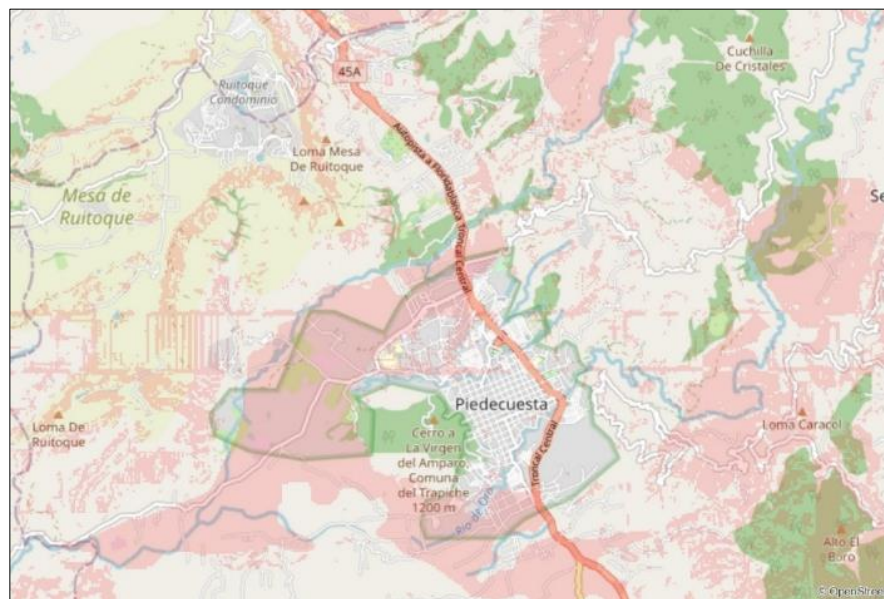


Figura 30. Mapa Ame_lluvia sobre imagery Piedecuesta. Nivel 5 y 7 de amenaza.
Fuente: elaboración propia.

Haciendo uso de los datos recopilados y de la herramienta de ArcGis para exportar los datos a una tabla en Excel, se procede a realizar el análisis filtrando las siguientes categorías: Nombre de los municipios, los niveles de amenaza de lluvia, sismo, la suma de ambos (lluvia y sismo), cantidad de amenaza, el área en km² y a través de estos, se grafican las tablas de datos correspondientes.

Para el caso de la Amenaza de lluvia presentada en la zona (Tabla 11), se diferencia en color rojo el nivel 7 de amenaza, que de acuerdo con la tabla de valores de amenaza de lluvia está en los niveles mayores de amenaza, es así como se calcula el área total en la extensión de los cuatro municipios que presenta este nivel de amenaza, dando como resultado: nivel 7: 348.337,11 km², en nivel 6: 485.938,06 km² y en nivel 5:

362.523,54 km² (esto en toda la extensión de los cuatro municipios pertenecientes al AMB).

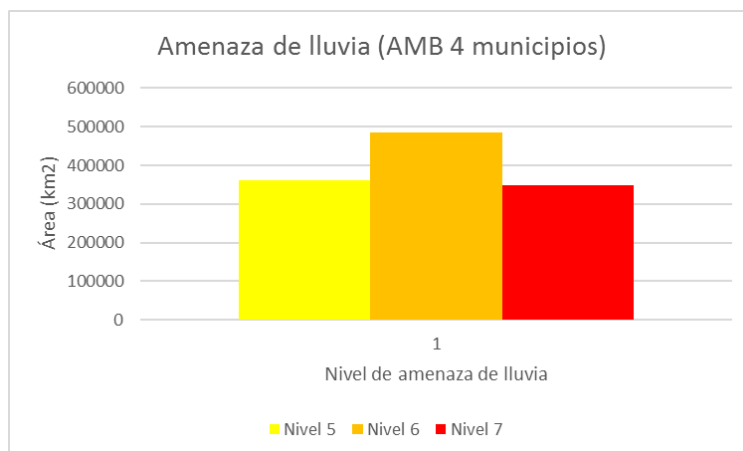


Tabla 11. Amenaza de lluvia (AMB 4 municipios).
Fuente: elaboración propia.

El mapa de amenaza de Sismo (Figura 31), también se modeló haciendo uso de los datos obtenidos en la página del Servicio Geológico Colombiano (2021), este mapa muestra las zonas con mayor nivel de amenaza de sismo en el AMB. Teniendo en cuenta la tabla de leyenda (Tabla 12), se puede observar muy claramente cómo la zona alrededor del río de Oro, al occidente de Bucaramanga y al norte y centro de Girón se presenta una zona grande con niveles entre 6-7, el nivel anterior al máximo, esto permite entender la

alta amenaza que existe en esta zona, y que son factores relevantes en el estudio de amenaza de inundación.

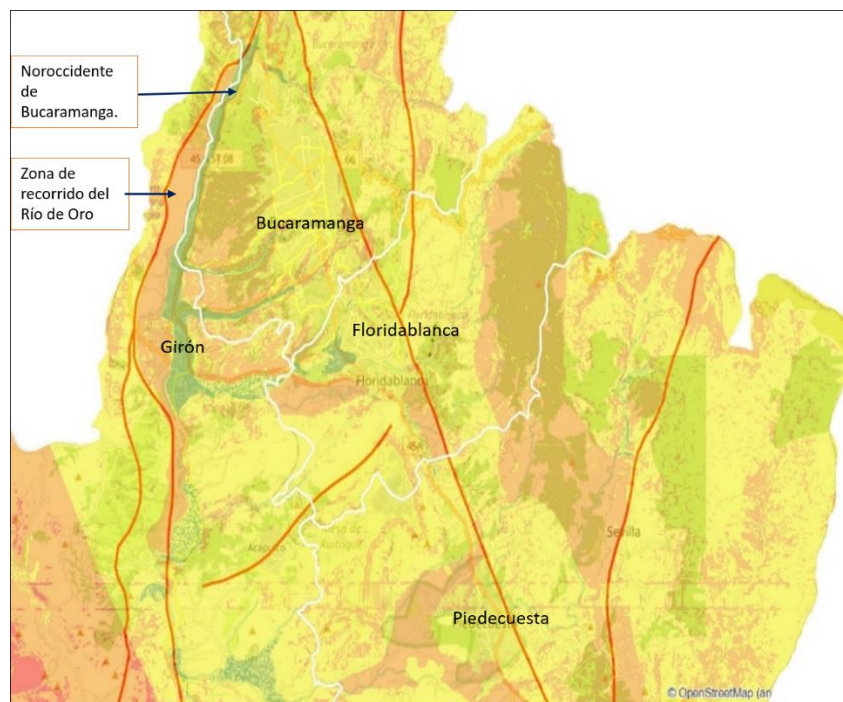


Figura 31. Mapa de amenaza de sismo sobre basemap con líneas de fallas y político.
Fuente: elaboración propia.






Symbol	Range	Label
	3 - 4	3 - 4
	4 - 5	4,000000001 - 5
	5 - 6	5,000000001 - 6
	6 - 7	6,000000001 - 7
	7 - 9	7,000000001 - 9

Tabla 12. Tabla leyenda de mapa de amenaza de sismo. SGC.
Fuente: elaboración propia.

Lo mismo sucede con la parte oriental del municipio de Floridablanca, este presenta un alto grado de amenaza de sismo muy cercana a su centro poblacional. Para el caso de Piedecuesta se observa que la zona más cercana y de mayor riesgo se encuentra rodeando el municipio desde el norte y aumentando hacia el occidente. Al sumar las áreas

que presentan amenaza de sismo en nivel 6 y 7 dio como resultado: 951.122,89 km² en toda la extensión de los 4 municipios pertenecientes al AMB.

Generando los mapas anteriores, se procede a generar el mapa de amenaza “Suma” (Figura 32), el cual es la unión del mapa de amenaza de lluvia y de sismo, figura 30 y 31 respectivamente. Este arroja la suma de estas amenazas y permite también observar las zonas con mayor nivel de riesgo basado en ambas amenazas, además se añadió a éste las líneas de fallas del área de estudio, y como se puede observar las zonas con mayor nivel de riesgo al sumarlas, son las ya mencionadas, cercanas a las líneas de fallas, de esta manera se respalda el enfoque en esta área, corroborando que estas zonas presentan alto nivel de amenaza o riesgo.

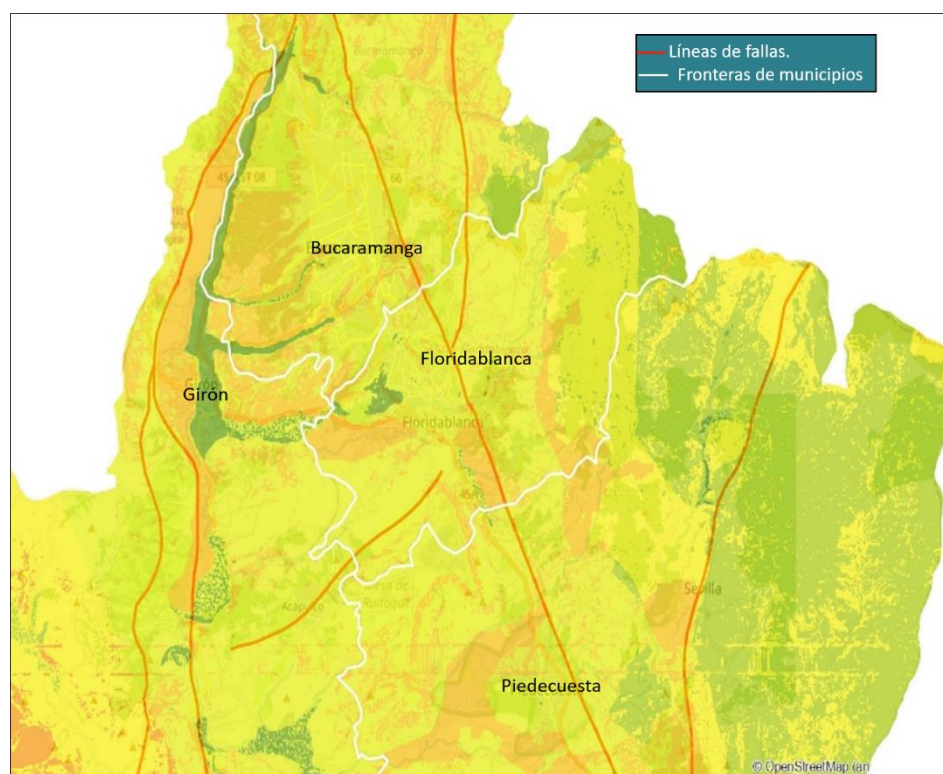


Figura 32. Mapa de amenaza Suma (lluvia y sismo) sobre basemap y con líneas de fallas y político.
Fuente: elaboración propia.

Además, en la Figura 33 se presenta el mapa de cantidad de amenaza general sobre el mapa de sombras y con la delimitación en color blanco de los municipios, y en color rojo el área urbana presente, esto con el fin de presentar el nivel de amenaza que se presenta en las zonas de estudio. Estos niveles están en una escala desde Baja a Muy Alta (Baja, Alta, Media, Baja) como se puede ver en la Tabla 13. En el sector occidental de Bucaramanga se puede evidenciar que el nivel de amenaza general es alto (4), esto también se ve alrededor del municipio de Girón, prácticamente toda el área urbana de Girón se ve rodeada de este nivel de amenaza. Lo mismo sucede en el municipio de Piedecuesta, quien a su lado oriental el nivel de cantidad de amenaza general es Medio (3), pero al norte, occidente y sur si presenta niveles Altos de cantidad de amenaza general.

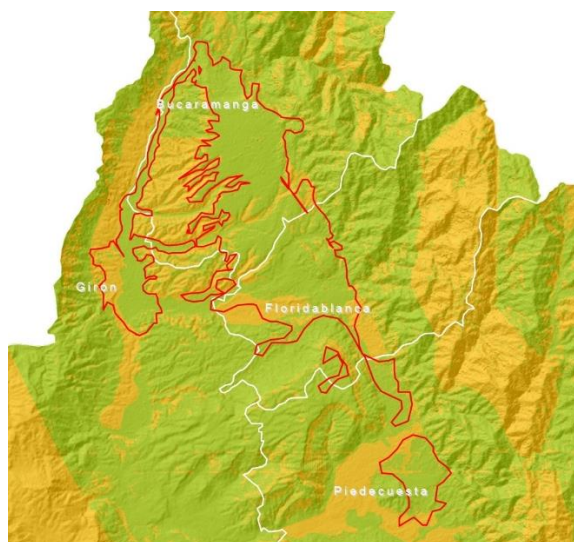


Figura 33. Mapa de Cantidad de Amenaza general.
Fuente: elaboración propia.









	5. Muy Alta		5. Muy Alta
	4. Alta		4. Alta
	3. Media		3. Media
	2. Baja		2. Baja

Tabla 13. Tabla de leyenda del Mapa de Cantidad de Amenaza.
Fuente: elaboración propia.

De igual manera, cómo se puede observar en la figura 34, en toda esta área no se presentan niveles de amenaza Muy Alta, pero si Media y Alta de acuerdo a la Tabla 14, que se usa como leyenda de la figura 34, y debe tenerse en cuenta que las zonas con diferentes amenazas en gran cantidad siguen siendo las mismas, la zona en color anaranjado identifica las zonas con nivel de Cantidad de amenaza Alta, esto muestra como el occidente y oriente del AMB presenta estos niveles, como es conocido, el AMB presenta zona montañosa a su alrededor, ya que toda esta área está construida en el valle del río de Oro.

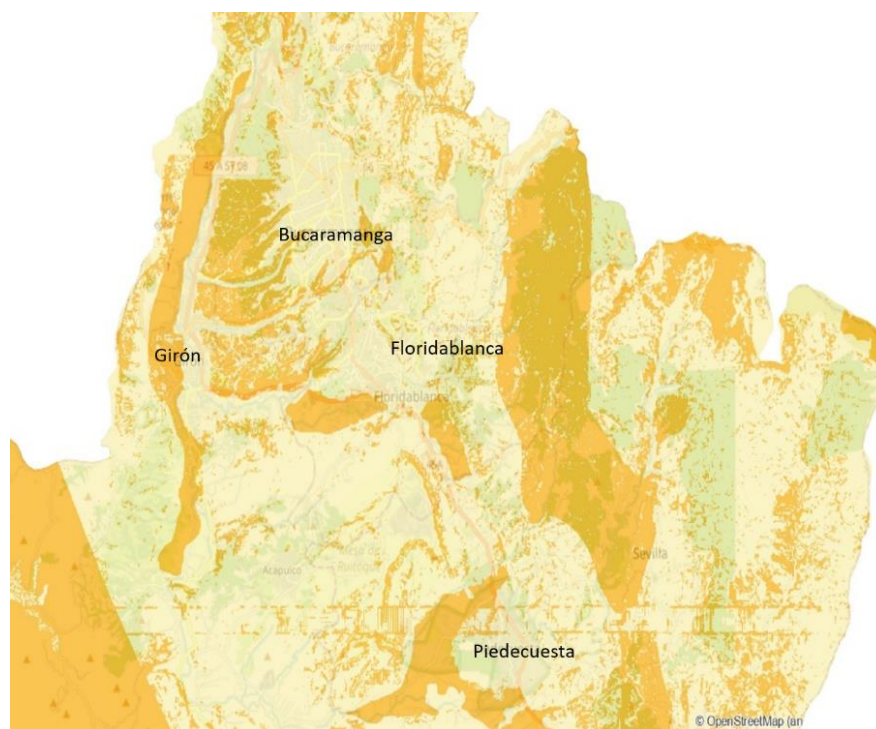


Figura 34. Mapa de Cantidad de Amenaza media-alta-muy alta general.
Fuente: elaboración propia.

	5. Muy Alta	5. Muy Alta
	4. Alta	4. Alta
	3. Media	3. Media
	2. Baja	2. Baja

Tabla 14. Tabla de leyenda de Cantidad de Amenazas media-alta-muy alta.
Fuente: elaboración propia.

Al occidente se puede ver como la amenaza de afectación sobre el área se extiende de norte a sur por todo el sector cercano al río de Oro, esto con respecto al municipio de Girón y Bucaramanga, en la zona occidental del municipio de Bucaramanga se percibe una zona con alto nivel de cantidad de amenaza. En el caso del municipio de Floridablanca se puede observar claramente como al oriente del municipio se extiende una zona bastante amplia sobre la cual la cantidad de amenaza es Alta, además se refleja como el hecho de que esta zona al oriente del municipio presente estos niveles de amenaza (de acuerdo a la Tabla 14) implican que Floridablanca está ubicada en una zona vulnerable de experimentar estos fenómenos naturales. Para el caso de Piedecuesta, se puede observar cómo es rodeada al norte y al occidente de niveles de amenaza alta, implicando que el municipio sea propenso a experimentar este tipo de fenómenos.

Haciendo uso de los datos recopilados y de la herramienta de ArcGis para exportar los datos a una tabla en Excel, se procede a realizar el análisis filtrando las siguientes categorías: Nombre de los municipios, los niveles de amenaza de lluvia, sismo, la suma de ambos (lluvia y sismo), cantidad de amenaza y el área en km²; para graficar las tablas de datos correspondientes a los niveles de Cantidad de amenaza (Tabla 15) presentada en la zona, se coloca en rojo: la Amenaza muy alta, naranja: Amenaza alta y amarillo: Amenaza Media como se puede ver en la tabla a continuación; basado en esto se calcula el área total en el AMB que presenta estos niveles de amenaza, dando como resultado: Amenaza muy alta: 39.616,06 km², en Amenaza Alta: 564.536,19 km² y

Amenaza Media 680.184,74 km² (esto en toda la extensión de los cuatro municipios del AMB).

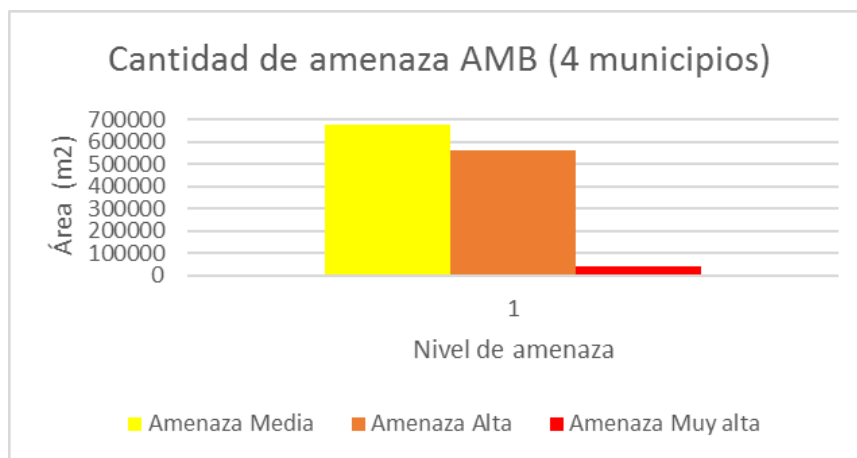


Tabla 15. Cantidad de amenaza AMB (4 municipios).
Fuente: elaboración propia.

En la tabla 15 es notable que el nivel de Cantidad de Amenaza en el territorio correspondiente a los cuatro municipios que pertenecen al AMB, no alcanza en gran medida el nivel de amenaza Muy alto, pero si los niveles Amenaza alta y Amenaza Media, que representan riesgo de afectación para la población.

4 Impacto.

Las inundaciones, aunque se encuentran categorizadas como fenómenos naturales, cabe mencionar que en muchas ocasiones las afectaciones producto de dicho fenómeno son por causa de los diferentes tipos de actividades humanas. En el caso del área metropolitana de Bucaramanga en diferentes ocasiones se han evidenciado afectaciones altas. Teniendo en cuenta lo presentado se puede mencionar las graves consecuencias y desastres que puede producir este fenómeno en toda el AMB, desastres o perjuicios que se dan en diferentes áreas como lo es el área social, económica, administrativa, salubridad, los derechos de los habitantes, ambientales,

entre otros. Es el caso de las zonas sobre la cual se adelantó este estudio, y donde se identificaron y relacionaron las áreas sobre las cuales se pueden presentar inundaciones en un gran nivel, que afectarían estructuras viales y una zona amplia del área urbana del AMB, estas zonas presentan diferentes niveles de riesgo debido también a la ubicación no apropiada de construcciones urbanas. Toda el área de estudio relacionada puede presentar el tipo de perjuicios mencionados anteriormente.

Por lo que este tipo de estudios aporta en la identificación de las zonas con alto nivel de probabilidad de inundación o las zonas que se encuentren en riesgo o amenaza de inundación, de esta manera, se puede proceder a verificar el impacto en las comunidades residentes cercanas o que se pueden ver afectadas para así llevar a cabo programas de prevención de estos desastres, además de poder ser la base para iniciar programas de inversión en temas de mitigación y reubicación de viviendas ubicadas en dichas zonas. También es importante nombrar la importancia de este tipo de estudios de amenazas naturales como base importante para todo lo referido a planes de ordenamiento territorial, que incluyen temas de urbanización, socio economía, actividades agrarias, industriales, servicios públicos, conectividad vial y de telecomunicaciones, entre otros. El hecho de lograr evitar este tipo de acontecimientos también representar evitar gastos adicionales indirectos, como lo puede ser, los gastos que deben cubrir los daños en los hogares, a las familias damnificadas, en su parte psicológica.

De igual manera es importante la debida socialización de este tipo de información, ya que no solo el Estado debe ser conocedor de esto, si no, también la sociedad en general y así producir un impacto en la conciencia colectiva de las personas que residen en el área metropolitana de Bucaramanga, específicamente en las zonas que presentan niveles de riesgos o amenazas de

inundación. Se ha logrado evidenciar como los Sistemas de Información Geográfico (SIG), aportan en la recopilación, almacenamiento, organización y representación eficiente de datos que aportan en el análisis de cualquier zona con cualquier fin, en este caso, con el objetivo de cumplir con las solicitudes que pueda presentar un ingeniero civil en el área geomática que implica o permite investigar y relacionar todos los aspectos fundamentales para realizar análisis geológicos, topográficos, hidrológicos, entre otros.

5 Conclusiones.

Se pudo establecer que en toda la extensión del territorio de los cuatro municipios, es decir, en áreas rurales y urbanas, la cantidad de amenaza registrada en nivel Muy alto es aproximadamente de 39 mil km², en nivel Alto aproximadamente 564 mil km² y en nivel Medio un aproximado de 680 mil km².

La afectación urbana y vial ocurre debido a que existen barrios y vías que están ubicadas directamente en la zona de mayor nivel de amenaza y riesgo. Esto denota el cómo pueden verse afectadas en gran manera estas áreas, en el aspecto de conectividad vial y en cuanto a pérdidas materiales, económicas y hasta vidas humanas.

Los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo son acertados, ya que, al analizar los mapas de amenazas y riesgos presentados en la zona de estudio, se dieron unos resultados que garantizan un aporte importante a nivel visual, ya que toman en cuenta las áreas que ya han experimentado este fenómeno y las áreas que se concluyeron como zonas con amenaza y riesgo de inundación alto.

A través del uso de los SIG, los datos recopilados se pudieron representar de forma clara y ordenada, permitiendo una mejor organización de estos y facilitando su análisis, con el fin de plasmar las problemáticas existentes y dar calidad de la necesidad de los estudios que son indispensables para la gestión de riesgo de cualquier ciudad.

Los datos recopilados ayudaron a la identificación de las áreas en riesgo de inundación, teniendo en cuenta aspectos como la geomorfología del terreno, es el caso del área metropolitana de Bucaramanga que básicamente está ubicada en el Valle de Oro y está rodeada de zonas

escarpadas, específicamente en las áreas señaladas con alto nivel de riesgo. La geomorfología del terreno de la zona de estudio implica que todo flujo drenado llegue a lugares definidos, lugares que son propensos a experimentar inundaciones.

6 Recomendaciones.

En el AMB han ocurrido diferentes eventos del fenómeno natural presentado en este estudio, es por lo cual, que la identificación de las zonas con altos niveles de amenaza de inundación es importante para la comunidad en general y en todas sus áreas, realizando los estudios necesarios para esto.

A través de este estudio, se pudo demostrar la relevancia y las virtudes que presentan los sistemas de información geográfica, identificando de zonas que puedan presentar algún nivel de amenaza o riesgo no solo en el área de inundabilidad, sino otros eventos debido a situaciones de riesgo por actividades propias de la naturaleza.

Es importante que los entes gubernamentales busquen incrementar el uso de estas herramientas, con el enfoque mencionado en términos de seguridad y protección, con el objetivo de establecer las gestiones pertinentes hacia los requerimientos necesarios en la elaboración de planes de ordenamiento territorial.

El Estado como veedor de los derechos de sus habitantes, debe proveer la información suficiente para que estos no construyan en zonas que son de alto riesgo o amenaza y/o encargarse

de evitar o desalojar a tiempo a los habitantes que no hagan caso de la información dada oportunamente, de esta manera prevenir situaciones lamentables. De esta manera, y haciendo uso de toda la información recopilada a través del uso de los GIS, se pueden implementar planes de mitigación o para evitar que sucedan eventos de inundación y otras amenazas.

Referencias bibliográficas.

- Alcaldía de Bucaramanga. (Marzo de 2018). *Consejo Municipal Floridablanca*. Obtenido de https://concejomunicipalfloridablanca.gov.co/old/download/pot_2018-2030/03.GESTION-DEL-RIESGO.pdf
- Alcaldía de San Juan de Girón. (Noviembre de 2010). *Alcaldía de San Juan de Girón*. Obtenido de Mapas. : <https://www.giron-santander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Mapas.aspx>
- Alcaldía de San Juan de Girón. (Noviembre de 2020). *Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres*. Obtenido de UT POT GIRÓN.: https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/32604/D_MA PA14D_AmenazaInundacion.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- AMB. (2017). *Área metropolitana de Bucaramanga*. . Obtenido de 102 Barrios del AMB tiene probabilidad de inundación en cauces de ríos Frío y de Oro.: <https://www.amb.gov.co/102-barrios-del-area-metropolitana-tienen-probabilidad-de-inundacion-en-cauces-de-rios-frio-y-de-oro-segun-estudios-del-amb/>
- AMB. (2021.). *Área Metropolitana de Bucaramanga*. Obtenido de <https://www.amb.gov.co/>
- Gobierno de Floridablanca. (16 de Abril de 2021). *Alcalde, Miguel Moreno, gestionó \$27 Mil Millones para obras de mitigación del riesgo*. Obtenido de [https://www.floridablanca.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Paginas/Alcalde-Miguel-Moreno-gestiono-\\$27-mil-millones-para-obras-de-mitigacion-del-riesgo.aspx](https://www.floridablanca.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Paginas/Alcalde-Miguel-Moreno-gestiono-$27-mil-millones-para-obras-de-mitigacion-del-riesgo.aspx)
- Google Maps. . (2021). *Google Maps*. . Obtenido de <https://www.google.com/maps/>
- IDEAM. (2007). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Bogotá.

- IDEAM. (2010). *Memoria Descriptiva Mapas de Inundación Departamento DE Sa.*
Obtenido de
<http://www.ideam.gov.co/documents/670372/31372033/InundacionSantander.pdf/1851e96f-ace5-456e-9324-b3df3bdc1e74>.
- IDEAM. (2014). *Agua, amenazas de inundación.* Obtenido de
<http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>
- IDEAM. (2018). *Reporte de avance del Estudio Nacional del agua 2018.* Bogotá: IDEAM.
- IDIGER. (11 de Septiembre de 2021). *Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático.* Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>
- Ministerio de Vivienda y Grupo del Banco Mundial. (Julio de 2014). *Guía Metodológica para el Inventario de Asentamientos en Zonas de Alto Riesgo.* Obtenido de
<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-aplicacion-asentamientos.pdf>
- Servicio Geológico Colombiano. (2021). *SGC.* Obtenido de <https://www.sgc.gov.co/>
- SIAC. (2010). *Sistema de Información Ambiental de Colombia.* Obtenido de
<http://www.siac.gov.co/inundaciones>
- SIAC. (2013). *Sistema de Información Ambiental de Colombia.* Obtenido de
<http://www.siac.gov.co/inundaciones>
- Trujillo O., J. G. (2021). *Todas las imágenes, mapas y tablas referenciadas como "elaboradas por el autor".* Barrancabermeja.
- UNDRR. (2021). *Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.* Obtenido de <https://www.eird.org/americas/>

- Universidad Nacional de Colombia. (2013). *Departamento de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de SIAC:
<http://www.siac.gov.co/documents/670372/32542773/01+giron+amenaza.pdf/70a62e1f-c28a-4120-8999-efee5a98bc18>
- Vanguardia. (12 de Febrero de 2020). *Inundaciones del área metropolitana de Bucaramanga*. Obtenido de Vanguardia. : <https://www.vanguardia.com/especiales-vanguardia/contenido/inundaciones-en-Bucaramanga-y-el-area/>