



**ANÁLISIS DE AMENAZAS POR AVENIDAS TORRENCIALES EN LA ZONA MEDIA
DE LA MICROCUENCA DEL RIO TONA FRENTE AL DESARROLLO DEL
TERRITORIO Y A TRAVÉS DE HERRAMIENTAS SIG**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERÍA EN TOPOGRAFÍA
BUCARAMANGA 18-08-2023**



**ANÁLISIS DE AMENAZAS POR AVENIDAS TORRENCIALES EN LA ZONA MEDIA
DE LA MICROCUENCA DEL RIO TONA FRENTE AL DESARROLLO DEL
TERRITORIO Y A TRAVÉS DE HERRAMIENTAS SIG**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

SERGIO ALEXANDER CARREÑO GUEVARA CC 80031704
YESID PINEDA VALERO CC 91499750
LIDA MARCELA ZAMBRANO PARRA CC 63559516

**Trabajo de Grado para optar por el título de
INGENIERO TOPÓGRAFO**

DIRECTOR
M.Sc CLARA INÉS TORRES VÁSQUEZ

GRUPO DE INVESTIGACIÓN MEDIO AMBIENTE Y TERRITORIO - GRIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERÍA EN TOPOGRAFÍA
BUCARAMANGA 18-08-2023**

Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por
Las Unidades Tecnológicas de Santander para optar al título

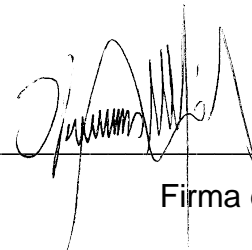
Ingeniero Topógrafo

Según acta #23 del Comité de Proyectos de Grado

Del 22-08-2023

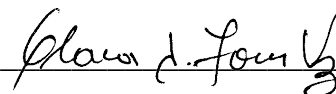
Docente evaluador: Ing Germán Alberto Suárez Arias

Docente directora: M.Sc Clara Inés Torres Vásquez



Firma del Evaluador

Scanned by CamScanner



Firma del Director

DEDICATORIA

Este proyecto de grado va dedicado en primer lugar a Dios, que ha puesto todo en nuestro camino para enfocarnos hacia nuestros objetivos, a mis familiares en especial a mi esposo Juan Ignacio quién con su apoyo incondicional hizo de este proceso más fácil, a mis padres, que me inculcaron valores y tenacidad para perseguir mis sueños, a mi hija Paula Sofía por quien me esfuerzo cada día en ser ejemplo de constancia y superación.

Lida Marcela Zambrano Parra

Dedicamos este proyecto al esfuerzo de cada uno de nosotros durante el proceso de formación académica, apoyados en la fuerza de Dios como la base de nuestra vida y control de cada momento, hasta avanzar en descubrir el conocimiento y lograr los objetivos trazados de principio a fin; fundamentados en la familia y apoyados el amor propio para esforzarnos en la búsqueda del desarrollo personal y profesional para ser inculcado en futuras generaciones exitosas y que seamos aportantes en el desarrollo de nuestro territorio como ingenieros topográficos.

Sergio Carreño Guevara

Dedico mi tesis principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mi madre, mi heroína de capa larga, quien con su fortaleza, sabiduría y amor incondicional me ha guiado en cada paso de mi vida, gracias por creer en mí desde el primer día, por sus sacrificios y su apoyo constante que han sido la clave de mi éxito, este logro es un triunfo de los dos.

A mi hija María José lo más importante en mi vida y para quien quiero ser inspiración y un ejemplo a seguir.

A mi hermano, por todo su apoyo incondicional, espero le sirva de ejemplo que todo se puede lograr.

A mis compañeros de tesis, quienes siempre estuvieron hay para darme aliento y seguir adelante en este proyecto.

Yesid Pineda Valero

AGRADECIMIENTOS

Principalmente nuestros agradecimientos más sinceros para la directora del proyecto Clara Inés Torres Vásquez quien se convirtió en nuestro sostén y guía en el proceso investigativo. A los docentes que nos acompañaron durante todo el proceso educativo, a la institución Unidades Tecnológicas de Santander quienes con su interés de seguir formando profesionales líderes nos dieron la oportunidad de ser parte de este nuevo proyecto como lo es la Ingeniería en Topografía.

Agradecimiento siempre a Dios nuestra guía espiritual, a nuestras familias, a mi esposa e hijos que nos inculcan valores para lograr avanzar en la búsqueda del éxito y nos enseñan a merecer cada esfuerzo de nuestras vidas y estar siempre apoyándonos en la toma de decisiones mediante sus buenos consejos para nunca dejarnos desfallecer. También a nuestros profesores que a lo largo de nuestra formación académica nos enseñaron cada proceso y nos evaluaron para hacernos merecedores a este título que con dedicación y gran orgullo obtuvimos como ingenieros topográficos egresados de las unidades tecnológicas de Santander (UTS).

A la directora del proyecto Clara Inés Torres Vásquez quien nos guio y siempre estuvo ahí apoyándonos en este proceso investigativo.

También quiero agradecer a la Universidad Unidades Tecnológicas de Santander, directivos y profesores por la organización del programa de Ingeniería en Topografía.

A Elvis Yesith Lizarazo y Carlos Andrés Buenahora, grandes amigos a quienes estimo y les debo su apoyo incondicional, y quienes desde el primer momento creyeron en mí y nunca han dudado de mis capacidades.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. JUSTIFICACIÓN	18
1.3. OBJETIVOS	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4. ESTADO DEL ARTE	19
2. MARCO REFERENCIAL	26
2.1. MARCO TEÓRICO	26
2.1.1 FUNDAMENTOS	26
2.1.1.1 Estrategias de mitigación de amenazas en la planificación del desarrollo	26
2.1.1.2 Desastre/planificación/desarrollo	36
2.1.1.3 Gestión del riesgo de desastres en proyectos de desarrollo	41
2.1.1.4 El ordenamiento territorial para la gestión del riesgo de desastres en Colombia ...	47
2.1.1.5 Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas.	53
2.1.1.6. SIG (Sistema de información geográfica)	59
2.2. MARCO CONCEPTUAL	63
3. METODOLOGIA	67
4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	68
4.1 FASE I: INVESTIGACIÓN Y ELECCIÓN DEL TEMA.	68
4.2 FASE II: RECOPIACIÓN DOCUMENTAL Y BIBLIOGRÁFICA.	68
4.3 FASE III: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA A TRAVÉS DEL SIG Y LA VISITA A CAMPO.	68
4.4 FASE IV: OBTENCIÓN DE RESULTADOS.	68
5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	70
5.1 FASE DE INVESTIGACIÓN	70
5.1.1. Localización del área de estudio	70

5.1.2. Climatología e hidrología de Tona	72
5.2. AMENAZAS POR AVENIDAS TORRENCIALES EN LA MICROCUENCA DEL RIO TONA, TENIENDO EN CUENTA LA INFORMACIÓN HISTÓRICA DE LOS EVENTOS QUE HAN SUFRIDO EN LA ZONA EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS.....	82
5.2.1. Pendientes del río Tona.....	82
5.1. SALIDA DE CAMPO	112
5.2. LEVANTAMIENTOS FOTOGAMETRICOS.....	116
5.2.1. Captura de la información.....	116
5.2.2. Plan de vuelo.....	117
5.2.3. Trabajo de campo.....	118
5.2.4. Trabajos de oficina	119
5.3. EQUIPOS.....	120
5.3.1. Drone.....	120
5.3.2. GPS de doble frecuencia.....	125
5.3.3. Computador de oficina	126
5.3.4. Software	126
5.4. MUNICIPIO DE TONA.....	128
5.5. MAPA DE PENDIENTES	129
5.6. RESULTADO MODELO AVENIDA TORRENCIAL	130
6. CONCLUSIONES	135
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137
8. ANEXOS	139

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Rollo regional integrado	32
Tabla 2. Principales afluentes del río Tona.....	75
Tabla 3. Estaciones en la microcuenca del río Tona.....	97
Tabla 4. Especificaciones DJI Matrice 300 RTK	121
Tabla 5. Ficha técnica sensor Zenmuse P1 (35mm).....	123

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Factores de vulnerabilidad y sus componente o subsistemas.....	45
Ilustración 2. Metodología para obtener susceptibilidad a movimientos en masa	54
Ilustración 3 Factores condicionantes derivados de las características geométricas de la ladera Pendiente de la ladera (PEND)	58
Ilustración 4. Diagrama metodológico	69
Ilustración 5. Localización del área de estudio.....	71
Ilustración 6. Variación anual de la precipitación meteórica del Tona	74
Ilustración 7. Zonas de vida según Holdridge. Clasificación de formaciones vegetales del mundo o zonas de vida.....	77
Ilustración 8. Unidades Geológicas POMCA. Micro Cuenca Rio Tona.....	81
Ilustración 9. Localización geográfica de la cuenca del río Tona	83
Ilustración 10. Topografía y Drenaje microcuenca del río Tona	84
Ilustración 11. Panorámica de Terraza de acumulación subreciente.....	86
Ilustración 12. División de la microcuenca del Río Tona	89
Ilustración 13. Uso de tierras en la microcuenca del río Tona	92
Ilustración 14. Temperatura y precipitaciones mensuales en la microcuenca del rio Tona	93
Ilustración 15. Modelo topográfico de la cuenca del río Tona.....	96
Ilustración 16. Red de drenaje cuenca del río Tona	98
Ilustración 17. Modelo digital de elevación (DEM) de la cuenca del río Tona	99
Ilustración 18. Caudales medidos en las estaciones sobre el río Tona	100
Ilustración 19. Datos de caudales medidos en las estaciones sobre el río Tona	101
Ilustración 20. Datos del caudal total de entradas al río Tona	102
Ilustración 21. Caudal de Tona+ Entradas vs Golondrinas + Bocatoma	103
Ilustración 22. Caudal de Tona + Entradas vs caudal en Carrizal.....	104
Ilustración 23. Caudal de Carrizal – caudal captado Bocatoma vs caudal Golondrinas ...	105
Ilustración 24. Ubicación general de la Microcuenca Rio Tona	107
Ilustración 25. Zonas aledañas a la microcuenca del río Tona.....	108
Ilustración 26. Geomorfología – microcuenca del Rio Tona.....	110
Ilustración 27. Mapa de amenaza por fenómenos de movimientos en masa en el departamento de Santander	111
Ilustración 28. Rio Tona.....	112
Ilustración 29. Salida de campo inspección del Rio	113
Ilustración 30. Muestreo	114
Ilustración 31. Salida de campo	114
Ilustración 32. Preparación del Drone	115
Ilustración 33. Salida de campo	116
Ilustración 34. Plan de vuelo en DJI TERRA.....	118
Ilustración 35. Procesamiento fotografías Pix4D	119
Ilustración 36. DJI Matrice 300 RTK	120

Ilustración 37. GNSS RTK GALAXY G7	125
Ilustración 38. ThinkStation Lenovo e31	126
Ilustración 39. Software de planeación y procesamiento de datos.....	127
Ilustración 40. Ortofoto Tona Julio 2023	128
Ilustración 41 Mapa de Pendientes.....	129
Ilustración 42 Modelo.....	130
Ilustración 43 Precipitación media en Santander durante los años 2012 a 2022.....	131
Ilustración 44 Curva de intensidad duración frecuencia	132

RESUMEN EJECUTIVO

El propósito de esta investigación es analizar la microcuenca del río Tona mediante la investigación de aspectos geológicos, patrones de meteorización y comportamiento estructural. El objetivo principal es desarrollar un modelo de Sistema de Información Geográfica (SIG) que pueda identificar áreas de alto riesgo de inundaciones torrenciales en esta microcuenca. El estudio se basa en el modelo hidrogeológico del Macizo de Santander, con un enfoque específico en el papel de la base geológica. Se utilizaron diversas metodologías para examinar la litología, las estructuras superficiales y las áreas de meteorización en un área de 150 km² a una escala de 1:25000. Además, se realizó un análisis de elementos estructurales clave, como tipos de fallas y estadísticas conjuntas, para determinar las rutas de movimiento del agua a través de redes hidrológicas.

PALABRAS CLAVES: Avenida torrencial, zona de amenaza, microcuenca río Tona

ABSTRACT

The purpose of this research is to analyze the sub-basin of the Tona River by investigating geological aspects, weathering patterns and structural behavior. The main objective is to develop a Geographic Information System (GIS) model that can identify areas at high risk of torrential flooding in this micro-basin. The study is based on the hydrogeological model of the Santander Massif, with a specific focus on the role of the geological base. Various methodologies were used to examine lithology, surface structures and weathering areas over an area of 150 km² at a scale of 1:25000. In addition, an analysis of key structural elements, such as fault types and joint statistics, was performed to determine water movement routes through hydrological networks.

KEYWORDS: Torrential Avenue, threat zone, Tona River micro-basin.

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento fundamental para el desarrollo del planeta y el estado de este recurso afecta a todos los sistemas naturales, sociales y económicos, ya que este es el vínculo fundamental entre el sistema climático, la sociedad humana y el medio ambiente. Los cambios climáticos intensos están provocando graves alteraciones en el ciclo hidrológico y, por lo tanto, en la gestión del agua, lo cual tiene efectos significativos en el desarrollo humano y la seguridad. Estas alteraciones climáticas son causadas por la concentración de gases de efecto invernadero y aerosoles en la atmósfera, así como por cambios en la cobertura terrestre y la radiación solar, lo cual afecta el equilibrio de energía del sistema climático.

El aumento de la demanda de agua debido al crecimiento excesivo de la población está asociado con un incremento en la contaminación de este recurso, lo cual genera problemas en el desarrollo económico y social de muchas regiones, incluyendo aquellas ubicadas en zonas áridas. Estas situaciones son resultado de una gestión deficiente del recurso y de la falta de conocimiento al respecto. En la actualidad, la situación a nivel global es complicada y desigual, con diversas regiones, cuencas fluviales y localidades afectadas en diferentes grados y de diversas maneras

En la actualidad, se observa un aumento significativo en los estudios que analizan el impacto potencial del cambio climático en la disponibilidad de los recursos hídricos a nivel regional y local. Se están utilizando diversos enfoques, como modelos climáticos, hidrológicos y técnicas de regionalización, para lograr este objetivo. Este estudio se llevó a cabo en la cuenca del río Tona, que se encuentra en el Departamento de Santander. Esta cuenca es de gran importancia para el área

metropolitana de Bucaramanga, ya que abastece de 1400 lps al acueducto metropolitano de Bucaramanga a través de tres captaciones ubicadas en la parte media de la cuenca (Armania, Carrizal y Golondrinas).

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Tona se encuentra ubicado en el departamento de Santander, en la cuenca superior del Río Lebrija. La cabecera municipal está a 37 kilómetros de Bucaramanga, a una altura de 1909 metros sobre el nivel del mar, y tiene una temperatura media de 18 grados centígrados. Más de 18 mil hectáreas del municipio conforman el Páramo de Santurbán, fuente de agua potable para Santander y Norte de Santander. (CDMB, 2005)

Su población actual según la proyección del DANE al 2020 es de 7.085 habitantes con un crecimiento del 0.58% anual. El 77.98% de la población habita en el sector rural, mientras que el 22.02% restante, se ubica en la cabecera municipal con actividades económicas como: tiendas, manufactura, salud y educación. (DANE, 2020)

La distribución del suelo del municipio de Tona está destinado a usos urbanos, entre ellos podemos dar cuenta de la infraestructura vial y de las redes primarias de acueducto, alcantarillado y energía. La cabecera municipal tiene una extensión de 101.106 metros cuadrados. La concentración comercial (tiendas) se localizan alrededor del parque central, estas siguen las tendencias tradicionales, asimismo, alrededor de estas se ubican los servicios administrativos y religiosos. En el ordenamiento territorial también podemos encontrar zonas exclusivamente residenciales, comercio y demás que permiten la concentración de la población (Datos Abiertos Colombia, s. f.).

En la última década se han presentado múltiples amenazas por inundación que afectan la calidad de vida de la mayoría de los habitantes que bordean el área de la

ronda hídrica correspondiente al Río Tona. La susceptibilidad de este fenómeno corresponde a la afluencia de varias quebradas que en temporadas invernales se posan en este río, haciendo su crecimiento progresivo, lo cual lleva a generar inundaciones de mínimo dos metros en el casco urbano del municipio (Datos Abiertos Colombia, s. f.). El área circundante al río se ha visto afectada en las últimas temporadas de lluvias, pues dichas precipitaciones han sido más elevadas de lo normal según el IDEAM (El IDEAM alerta por incremento de la amenaza por posibles crecientes súbitas, inundaciones y deslizamientos de tierra, por la temporada de lluvias del fenómeno de la niña eliminación de documentos por vigencia según el tiempo de retención del archivo central - noticias - IDEAM, s. f.), lo que ha elevado la posibilidad de daños por avenidas torrenciales.

A lo anterior, se le suma el desconocimiento por parte de los pobladores sobre el aprovechamiento de los recursos y como evitar la contaminación, teniendo en cuenta que en gran parte el río recibe a diario las aguas servidas de la parte urbana del municipio, al igual en los corregimientos las aguas residuales no cuentan con un manejo adecuado, empeorando las situaciones con el alto grado de contaminación que existe (Santander, 2022) Por ello es necesario realizar un análisis exhaustivo que nos guíe directamente al detonante de esta amenaza que en los últimos años se ha convertido en uno de los riesgos más predominantes en la zona. Es allí donde nace el interrogante: ¿Cómo analizar desde la ingeniería en Topografía las amenazas por avenidas torrenciales que se puedan presentar en la zona media de la microcuenca del río Tona, Santander?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El cambio climático es un fenómeno global que impacta todos los aspectos de nuestras vidas. Los problemas relacionados con el agua, como las inundaciones y las sequías, son consecuencias negativas del cambio climático en todo el mundo, incluyendo la región de la microcuenca del río Tona. Es importante tener en cuenta que la actividad humana, especialmente desde la revolución industrial, ha tenido una gran influencia en estos cambios. Sin embargo, actualmente contamos con evaluaciones de amenazas y planes de gestión del riesgo para mitigar estos fenómenos naturales. Al analizar la información sobre el desarrollo territorial de los últimos años en la microcuenca del río Tona, se encontraron diversos factores que definitivamente afectarían el área inundable, lo cual podría resultar en catástrofes humanas si no se implementan medidas adecuadas de ordenamiento territorial para garantizar la seguridad de la población.

En los primeros meses del año, se han reportado múltiples casos a nivel local y nacional en los que aproximadamente 300 familias se enfrentaron al temor por sus vidas debido a las fuertes inundaciones. Estas inundaciones afectaron alrededor de 500 hectáreas de cultivos de papa y cebolla, debilitando así la economía local en Santander (Santander, 2022). Este proyecto de investigación se centra en la seguridad hídrica y la gobernanza del agua en la microcuenca del Río Tona en Santander, y se basa en las áreas de investigación del grupo Grimat, al cual está afiliado el programa de ingeniería en Topografía. Las áreas de investigación incluyen Geomática, Suelo-subsuelo y Ambiente y Territorio.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar las amenazas por avenidas torrenciales en la zona media de la microcuenca del río Tona mediante información existente y el uso de herramientas SIG para determinar su influencia en el desarrollo del territorio

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información existente teniendo en cuenta datos históricos relevantes para la organización y análisis de dicha información en la planificación del desarrollo del territorio microcuenca del río Tona.
- Revisar hechos históricos de avenidas torrenciales de los últimos diez años en la zona media de la microcuenca del río Tona organizando por intensidad del evento y como insumo para la generación de un modelo SIG.
- Crear un modelo SIG donde se evidencie la cota máxima que podría alcanzar las avenidas torrenciales y el área total que se vería afectada por un evento como este a gran escala sobre la zona media de la microcuenca del río Tona.

1.4. ESTADO DEL ARTE

En el siguiente apartado, encontraremos diferentes investigaciones que se han realizado desde el campo local, nacional e internacional relacionadas con las amenazas que trae consigo las inundaciones y como pueden ser prevenidas en la presente propuesta.

1.4.1. INTERNACIONALES

José Ernesto Rangel, Mauricio Bretón Gonzales y Antonina Ivanova (2021) en su libro Amenazas y desastres en la cuenca del pacífico en Colima- México presentan los diversos eventos de origen natural que afecta la economía mundial y que ponen en riesgo a la sociedad entera, enfatizan en la necesidad de enfrentar estos riesgos con medidas preventivas responsables y con entereza científica. En consecuencia, a través de esta creación buscan proporcionar datos sobre las amenazas y desastres en la cuenca del pacífico, cuya región encierra las mayores riquezas en cuanto a recursos marinos.

De igual forma, utilizan diversidad de ejemplos y situaciones con las que buscan que el lector pueda diferenciar los conceptos de amenazas y desastres con las cuales podrán interpretar de manera asertiva las tres partes en las cuales se divide. En primer lugar, contextualizan sobre las geografías de riesgo, utilizando allí trabajos relacionados con grandes organizaciones como el trabajo de preparación para emergencias de APEC. Por otro lado, a partir de estudios relacionados, exponen de forma concisa el problema irónico de la abundancia/escasez de alimentos, la cual es un aspecto prevalente en esta cuenca y que presenta una amenaza mayor que se deriva de temas como la vulnerabilidad y el cambio climático.

Por último, presentan el impacto que ha tenido en la región los fenómenos naturales como: sismo, ciclones, tsunamis y erupciones volcánicas, que han afectado a lo largo de la historia a millones de personas y que ha conllevado a efectos irreversibles para la sociedad. Finalmente, resumen la importancia de considerar los efectos de largo plazo de la variabilidad climática como hecho que repercute en las necesidades básicas de una población.

Peña Díaz Ana Lilia (2017) en su investigación “Estrategia de manejo para la mitigación del riesgo por inundaciones en la microcuenca San José El Alto, Querétaro” expone como el riesgo asociado a inundaciones en espacios urbanos es complejo y se construye conforme aumentan las actividades humanas, en este sentido las cuencas con población urbana son las que presentan mayor riesgo.

Ahora bien, la expansión rápida y desordenada del crecimiento demográfico y la existencia de cambios de uso de suelo, sin o con pocas políticas de regulación, generan como consecuencia inundaciones. Estas se dan principalmente en las periferias de ciudades medianas y pequeñas, lo cual propicia suelos inseguros, comúnmente ocupados por diferentes tipos de asentamientos humanos (irregulares y precarios o consolidados y regulares). Al respecto la población de escasos recursos económicos es la que llega a ser más afectada, entre otras razones, por las deficiencias de la calidad de la infraestructura y la vivienda urbana.

Bajo este principio, la microcuenca San José El Alto, ubicada en la periferia al noroeste de la ciudad de Querétaro (uno de los principales polos de crecimiento de la ciudad), enfrenta un importante proceso de transformación de usos de suelo y desarrollo económico que se ve acompañado por el crecimiento urbano de las últimas tres décadas (1980-2016).

En consecuencia, las características físicas y sociales del área exponen a los habitantes y su patrimonio a daños y pérdidas por riesgo de inundaciones. Para proponer una estrategia de mitigación del riesgo por inundaciones se planteó una metodología dividida en cuatro etapas: 1) Identificación de amenazas asociadas a inundaciones. 2) Identificación de la vulnerabilidad de los objetos amenazados; 3) Zonificación de los sitios de riesgo asociados a inundaciones; 4) Elaboración de la estrategia de manejo para mitigar inundaciones en la microcuenca San José El Alto.

Para concluir, el resultado confirma la existencia del riesgo por inundaciones que afecta en particular la calidad de los materiales de las viviendas.

Ante la amenaza, los habitantes demuestran insuficiencia en la capacidad de ajuste y respuesta lo que los vuelve vulnerables. Por ello, la propuesta de mitigación consiste en el fortalecimiento de la gestión del riesgo mediante el enfoque participativo de la gestión de cuencas y la difusión de la información de instrumentos y políticas encaminadas a la gestión del riesgo por inundaciones.

1.4.2. NACIONALES

Barreto y Ruiz (2001) realizan un estudio sobre la amenaza por avenidas torrenciales en el sector noroccidental de la ciudad de Ibagué (departamento de Tolima). Se elaboró un inventario de desastres y se analizó la cronología de los movimientos de masa y las avenidas torrenciales. Con la base cartográfica (ortofotografía y modelo digital del terreno) y trabajo de campo, se levantó información de capas de geología y cobertura de la zona. De igual modo se tomaron muestras de material superficial y del lecho de las quebradas, se corroboró el uso y cobertura del suelo, se realizó un levantamiento topográfico de secciones en los cauces y, al inventariar los procesos denudativos, se obtuvo un mapa de susceptibilidad a movimientos de masa y avenidas torrenciales, el cual fue la base para establecer criterios de calificación de cada uno de los factores dentro de la evaluación.

Se concluyó que las zonas urbana y suburbana, al pie de los cerros noroccidentales de Ibagué, pueden ser severamente afectadas por flujos de tierra y avalanchas originados en la zona montañosa, así como por inundaciones. A largo plazo, la posibilidad de daños es mucho mayor ya que aumenta la probabilidad de que sucedan eventos como sismos y lluvias de gran magnitud capaces de detonar

deslizamientos más numerosos y de mayor tamaño que los ocurridos en años recientes. Piedrahíta y Hermelín [4] analizan la avenida torrencial del río Tapartó (municipio de Andes, Antioquia), ocurrida en la noche del 25 al 26 de abril de 1993, la cual dejó depósitos de los flujos de lodos transportados por el río con un espesor promedio de 30 cm y causó socavación del lecho del río. Dichos autores asociaron la ocurrencia de dicho evento a fuertes lluvias de gran intensidad, altas pendientes y desprendimientos de material sólido en la parte alta de la cuenca. Mediante el análisis de 7 depósitos previos en la cuenca, encuentran una recurrencia de estos eventos de 280 años para este tipo de avenidas en el río Tapartó.

María Eugenia Sevillano Rodríguez (2021) en su artículo Método de Evaluación Sintetizada para Riesgo de Desastres con Enfoque de Ordenamiento Territorial (MESR): Una Aplicación para la Ciudad de Cali, Colombia evalúa el riesgo por inundación en la Ciudad de Santiago de Cali de Colombia. Aplicó el Método de Evaluación Sintetizada para Riesgo de Desastres con Enfoque de Ordenamiento Territorial (MESR). A partir de este modelo, se integró desde el enfoque de construcción social factores de amenaza y vulnerabilidad sintetizada para valorar el riesgo y determinar la población e infraestructura que podría afectarse. Los resultados indican que el riesgo clasificado como alto ocupa el 6%, el medio 38% y el bajo el 56%. A causa de esto, 34 barrios, 37.202 personas y 28 asentamientos informales podrían ser afectados en la primera fase de la ocurrencia. La cartografía de riesgo de inundación coincide con las zonas que históricamente han sido afectadas y donde se ubica la población más vulnerable. La importancia de estos hallazgos reside en la utilidad que muestra la gestión del riesgo de desastre para guiar procesos más resilientes y sustentables en relación al ordenamiento territorial.

Gutiérrez Ossa Jahir Alexander y Urrego Estrada Gleidy Alexandra (2012) en su artículo de reflexión “Los sistemas de información geográfica y los planes de ordenamiento territorial en Colombia” analizan la aplicabilidad y el contexto de los

sistemas de información geográfica (SIG) en el ordenamiento y la planeación territorial para el desarrollo en Colombia. En consecuencia, a lo anterior, se permiten analizar cómo estos sistemas permiten dar con la importancia de codificar y monitorear por medio de las herramientas tecnológicas, la información que se tiene sobre una estructura geográfica en una región. Dentro de los resultados que hallaron, resaltan la importancia que a partir del SIG lograron establecer los criterios de convergencia entre los planes de ordenamiento y los de desarrollo territorial tan dispares en Colombia.

1.4.3. LOCALES

Cordero Rebolledo Helmer (2022) en su estudio “Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el Cálculo del Índice de Erosión Usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) en la Cuenca del Río de Oro del Municipio de Girón, Santander” este estudio tuvo como objetivo principal aplicar los sistemas de información geográfica en el cálculo del índice de erosión mediante la aplicación de la ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la cuenca del Río de Oro del municipio de Girón, Santander. La cuenca del Río de Oro se encuentra localizada al norte del departamento de Santander, en las vertientes occidentales de la Cordillera Oriental Colombiana. Hace parte de su jurisdicción el Área Metropolitana de Bucaramanga, el principal núcleo urbano del departamento, de allí la importancia de evaluar y conocer las características físicas de la cuenca.

Por otro lado, en marco de la investigación se realizó la recopilación de información secundaria usada como insumo para el cálculo de los diferentes factores del modelo RUSLE. Todo el desarrollo de la investigación se realizó con la aplicación de los sistemas de información geográfica ya que son la tecnología más adecuada para el manejo de la información espacial y demás elementos básicos necesarios que de

alguna u otra manera presenten un componente geográfico que pueda ser aprovechada en la toma de decisiones.

Para concluir los resultados obtenidos con este estudio, en la interpretación de las discusiones dedujeron a las características del Rio de Oro, sus afluentes y características geográficas presentes, de igual forma los porcentajes de erosión presentes en la zona, los cuales a futuro les permitirá a los investigadores buscar formas de solución frente a esta perdida.

Pedraos Suarez Elizabeth, Rojas Suarez Edinson y Torres Camaron Huver Andrey (2019) en su trabajo de investigación “Caracterización de las microcuencas hidrográficas que conforman la cuenca del río Surata en el municipio de California” buscaron caracterizar las variables de la cuenca con el fin de realizar una representación digital de una red hidrográfica. Los componentes y variables que se utilizaron para la caracterización de la cuenca se agrupan en tres grandes temas; 1) tipificar las características principales de la cuenca, 2) ubicación, morfometría e hidrología de la cuenca y sus afluentes 3) caracterización biofísica ((CATIE), 2011).

A partir de lo anterior, buscaron plantear planes de ordenamiento territorial adoptado por los entes encargados, así como planes de desarrollo que mejoren la economía local. Como resultados de la anterior investigación, lograron obtener un análisis de las variables de relieve identificando que el flujo de la red hidrografía de este municipio de Santander vierte sus aguas en la microcuenca del rio vetas y que este pertenece a la cuenca del rio Lebrija. Lo anterior, permitió que elaboraran una base de datos cartográfica temática digital caracterizando ambientalmente el área evaluada.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1 FUNDAMENTOS

2.1.1.1 Estrategias de mitigación de amenazas en la planificación del desarrollo

La planificación del desarrollo se entiende como el mecanismo mediante el cual el gobierno desarrolla planes para promover el desarrollo económico, social y regional durante un período de tiempo. La gestión de riesgos incluye una gama de medidas tomadas antes, durante y después de los eventos naturales para limitar las muertes y los daños a la propiedad. Históricamente, la gestión de desastres naturales y la planificación del desarrollo se han hecho por separado. Un aspecto de la asistencia técnica de la OEA es la fusión de estos dos procedimientos. («Estrategias de mitigación de amenazas en la planificación del desarrollo», s. f.)

El análisis de riesgos puede separarse en acciones antepuestas al incidente, actividades durante y poco después del mismo. En secuencia metodológica, estas acciones son:

1. Las acciones previas al evento incluyen:

- Recopilación y análisis de datos para la mitigación de los peligros naturales.
- Reducción de las vulnerabilidades
- Estar preparados para las catástrofes naturales
- Predicción
- Estar preparados para las emergencias (incluyendo la vigilancia, la alerta y la evacuación)
- Formación y educación

2. Medidas adoptadas durante y después de una catástrofe natural:

- Rescate
- Apoyo

3. Reacción ante una catástrofe:

- De rehabilitación
- Restauración

La mitigación es la estrategia más rentable para disminuir el número de víctimas mortales y la devastación de la propiedad, además de ser la más acorde con el proceso de ordenamiento territorial. Es fundamental obtener datos sobre los propios sucesos, la susceptibilidad y el posible riesgo que conllevan. Seguidamente se presenta un resumen básico de las técnicas de mitigación.

Evaluaciones de amenazas naturales

La evaluación de riesgos proporciona información sobre la ubicación y la intensidad probable de los riesgos naturales, así como su frecuencia en un área y periodo de tiempo específicos. Estas investigaciones se basan principalmente en la evidencia científica disponible. Los conocimientos del pasado, recopilados tanto de registros escritos como de relatos de las personas que han vivido en la región durante mucho tiempo, también contribuyen a identificar los posibles eventos. En el mejor de los casos, una evaluación de desastres ambientales aumenta la conciencia sobre el problema en una población destinada al desarrollo, analiza la peligrosidad de los fenómenos naturales, reconoce los datos necesarios para realizar una evaluación concluyente y ofrece las herramientas más efectivas para obtener esa información.

Evaluaciones de vulnerabilidad

Los informes de seguridad evalúan el daño o las pérdidas que una catástrofe natural de cierta magnitud puede causar. Se consideran factores como la ubicación, las infraestructuras y los recursos físicos, como fábricas, lugares públicos y sitios culturales, así como las actividades diarias como el comercio. Es posible determinar la vulnerabilidad de lugares geográficos específicos, como aquellos con alto potencial de desarrollo o los que están actualmente poblados pero ubicados en áreas de riesgo. Las herramientas utilizadas incluyen la cartografía de infraestructuras críticas y la evaluación de riesgos sectoriales para industrias como la energía, el transporte, la agricultura, el turismo y la vivienda. En América Latina, generalmente no se tiene en cuenta la sensibilidad a los desastres naturales al evaluar una inversión, pero sí se considera la susceptibilidad a otros riesgos, como la volatilidad del comercio y el costo de las materias primas.

Evaluaciones de riesgo

La evaluación de riesgos implica utilizar la información obtenida a través de la investigación de los riesgos y la vulnerabilidad de una zona. Las técnicas tradicionales para llevar a cabo este tipo de análisis son largas y costosas, pero en la actualidad existen alternativas más rápidas que aun así proporcionan datos adecuados para la evaluación de proyectos. Una vez que se ha evaluado el nivel de amenaza, los profesionales de la planificación tienen la información necesaria para diseñar proyectos de inversión con medidas de mitigación, así como para comparar los costos y beneficios de llevarlas a cabo.

Misión preliminar: diseño del estudio

Durante esta etapa se adoptan acciones para:

- Comprobar la existencia de catástrofes naturales que afecten a la zona estudiada. Así, un ejemplo de ello, en la visita previa del informe medioambiental de la Organización de Estados Americanos (OEA), que contó con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo, descubrió que los riesgos naturales constituían una grave preocupación medioambiental en Uruguay. Por ello, se pretendía que la etapa I incluyera un examen de todos los riesgos pertinentes utilizando la información de que se dispone actualmente. Analizar la información disponible para determinar el riesgo que las catástrofes naturales ofrecen a la región investigada.
- Comprobar si se cuenta con información adecuada para determinar la amenaza que suponen los hechos. Si no es así, estimar la cantidad de información adicional, evaluaciones de amenazas, teledetección o equipos especializados que se necesitarán en la siguiente fase de la investigación.
- Establecer si la investigación necesaria será relevante para más de un proyecto o sector, y si es así, desarrollar la cooperación entre ellos.
- Debe instaurarse una coordinación con la organización nacional encargada de la preparación y la respuesta a las catástrofes.
- Elaborar un plan de trabajo integral en la primera etapa que detalle el trabajo de riesgos naturales que se va a realizar, los conocimientos y el tiempo que se necesitarán, así como los costes asociados.

Las fases de desarrollo y cómo se llevan a cabo de acuerdo con las características ya determinadas se describen en las secciones que siguen:

Paso 1: Diagnóstico del desarrollo

La fase I del proyecto consiste en que el equipo analice el área de investigación y estime con precisión los problemas y las opciones de desarrollo de la zona, así como en los lugares designados como objetivo. A partir de este estudio se crea un plan de desarrollo multisectorial y un repertorio de proyectos para que los responsables de la toma de decisiones del gobierno lo examinen. La etapa I comprende asimismo una valoración exhaustiva de los riesgos que plantean las catástrofes naturales y otros factores en lugares especialmente sensibles. Esto permite la aplicación anticipada de técnicas de mitigación no estructurales. En esta etapa, el grupo debe:

- Elaborar un mapa base.
- Definir los beneficios, los inconvenientes y los peligros de los ecosistemas. Determinar la relación causa-efecto entre los fenómenos naturales y el comportamiento humano.
- Analizar la situación socioeconómica, las capacidades institucionales y las conexiones entre la región de estudio y las zonas cercanas. Localizar las localidades con un alto potencial de crecimiento y realizar posteriormente una investigación más profunda sobre su situación socioeconómica y sus recursos naturales.
- Al llevar a cabo el desarrollo de cuencas fluviales internacionales o regiones fronterizas en las que la ocurrencia de una catástrofe natural podría dar lugar a una disputa internacional, debe realizarse un estudio exhaustivo de las peligrosidades en el marco de la estimación de los recursos.
- Analizar cualquier acontecimiento natural que represente un riesgo grave para la zona. Es probable que ya se disponga de suficiente información sobre las tormentas y los riesgos geológicos, pero si no es así, debería encargarse un análisis independiente. Se espera que el equipo de planificación pueda completar el material disponible y crear el estudio en relación con las

inundaciones, los desprendimientos y la desertización. Los análisis de riesgo de inundación en el plan de desarrollo costero y la evaluación de deslizamientos de tierra en distritos interiores seleccionados formaron parte de los controles efectuados en los departamentos hondureños de Atlántida e Islas de la Bahía.

- Realizar análisis de vulnerabilidad para determinados riesgos e industrias. Crear, según sea necesario, delimitación de riesgos frecuentes, zonificación de peligros e infraestructuras esenciales. Por ejemplo, la investigación sobre la vulnerabilidad en el sector agrícola ecuatoriano y en las estrategias de San Cristóbal y Nieves para reducir la vulnerabilidad de las infraestructuras esenciales identificó proyectos que deben ser estudiados en la fase de prefactibilidad en la Fase II. Las evaluaciones del riesgo de desertificación e inundaciones formaron parte de la investigación del Chaco paraguayo, junto con la zonificación de riesgos múltiples. El tiempo y los gastos asociados al diagnóstico de desarrollo no se vieron afectados por la ejecución de estas tareas adicionales.
- Determinar las regiones susceptibles de sufrir sucesos y evitar su uso intencionado.
- Identificar posibles proyectos; crear esquemas de proyectos atendiendo a las dificultades y posibilidades y en consonancia con las limitaciones sociales, políticas y económicas, al igual con los recursos y el calendario de la investigación.
- Establecer las estrategias estructurales de mitigación que deben aplicarse tanto en los proyectos propuestos como en los existentes.
- Crear un plan de trabajo completo para la siguiente fase que tenga en cuenta los posibles riesgos naturales.

Tabla 1 Rollo regional integrado

COMPONENTES	DISEÑO DEL ESTUDIO	EJECUCION DEL ESTUDIO		IMPLEMENTACION DE LAS RECOMENDACIONES
		FASE I	FASE II	
		Diagnóstico del Desarrollo	Formulación del Proyecto y Preparación del Plan de Acción	
Actividades:	Recibo y análisis de la solicitud de cooperación	Diagnóstico de la región	Formulación y evaluación del proyecto (prefactibilidad o factibilidad)	Asistencia para programas y proyectos específicos
		- análisis sectorial	- sectores productivos (agrícola, forestal, agroindustrial, industrial, pesca, minería)	Asistencia para incorporar las inversiones propuestas en el presupuesto nacional
		- análisis espacial	- servicios de apoyo (comercialización, crédito, extensión)	Servicios de consultoría para acciones del sector privado
	Misión Preliminar	- análisis institucional	- desarrollo social (vivienda, educación, capacitación de personal, salud)	Apoyo a los organismos ejecutores
	- pre-diagnóstico	- análisis del medio ambiente	- infraestructura (energía, transporte, comunicaciones)	Apoyo a la coordinación inter-institucional
	- preparación del acuerdo de cooperación	- síntesis: necesidades, problemas, potencial, limitantes	- servicios urbanos - manejo de los recursos naturales	
		Relación con planes nacionales, estrategias y prioridades		
		Estrategias de desarrollo		
		- formulación y análisis de alternativas		
		- identificación de ideas de proyecto, preparación de perfiles de proyecto	Preparación del plan de acción	
			- formulación de conjuntos de proyectos	
			- establecimiento de políticas para áreas y sectores prioritarios	
			- incentivos	
			- cronograma de inversión	
		- evaluación de fuentes de financiamiento		
		- desarrollo y capacitación institucional		
		- promoción		
Productos:	Acuerdo firmado	Informe Interino (Fase I)	Informe Final	Ejecución por parte del gobierno
	- definición de los productos de estudio	- diagnóstico de la región	- estrategia de desarrollo	- estudios de diseño finales
	- compromiso financiero de los participantes	- estrategia preliminar de desarrollo	- plan de acción	- ejecución del proyecto
	- plan de trabajo inicial	- proyectos identificados	- proyectos formulados	- cambios legislativos y en las regulaciones
			- actividades de apoyo	
Período de tiempo:	3 a 6 meses	9 a 12 meses	12 a 18 meses	Mejora en la capacidad operacional de las instituciones Variable

Fuente: OEA. Manual Sobre Manejo de Amenazas Naturales en la Planificación del Desarrollo Regional Integrado. (Washington, D.C.: 1991)

Lineamientos y casos desde la experiencia de la Organización de los Estados Americanos. Washington, DC: Organización de los Estados Americanos, 1984

Paso 2: Desarrollo del proyecto y elaboración del plan de acción

Evaluación de viabilidad: El equipo lleva a cabo un análisis detallado para determinar la viabilidad del proyecto seleccionado. Esto implica evaluar si el proyecto es técnicamente factible, si cumple con los requisitos legales y regulatorios, y si se ajusta a los objetivos de desarrollo del gobierno y las políticas vigentes.

- a. **Análisis de costos y beneficios:** Se realiza una evaluación exhaustiva de los costos asociados con la implementación del proyecto, que incluye los costos de construcción, operación y mantenimiento a lo largo del tiempo. Asimismo, se analizan los beneficios esperados, como los ingresos generados, la mejora de la productividad, la creación de empleo y otros impactos positivos en la economía y la sociedad.
- b. **Evaluación financiera:** El equipo utiliza diferentes herramientas financieras, como el índice presente neto (IPN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación costo-beneficio (RCB), para determinar la rentabilidad del proyecto y su capacidad para generar beneficios económicos a lo largo del tiempo.
- c. **Análisis de riesgos:** Se identifican y evalúan los posibles riesgos asociados con la implementación del proyecto, tanto en términos económicos como ambientales. También se consideran las medidas de mitigación necesarias para reducir estos riesgos y garantizar la sostenibilidad a largo plazo.
- d. **Plan de acción y categorización:** El equipo desarrolla un plan de acción detallado para la implementación del proyecto, estableciendo un cronograma, asignando responsabilidades y recursos, y definiendo los indicadores clave de desempeño para el seguimiento y la evaluación.
- e. **Revisión y aprobación gubernamental:** Una vez que el plan de acción y la evaluación del proyecto están completos, se presenta al gobierno para su revisión y aprobación. El gobierno evaluará la propuesta y tomará una decisión sobre su financiamiento y ejecución.
- f. **Implementación y seguimiento:** Si el proyecto es aprobado, se procede con su implementación según el plan de acción establecido. Durante esta fase, se realiza un seguimiento continuo para asegurar que el proyecto avance según lo previsto y se ajuste a los resultados esperados.
- g. **Evaluación y ajuste:** Después de la implementación, se realiza una evaluación exhaustiva para medir el impacto real del proyecto y su efectividad

para lograr los objetivos establecidos. Si es necesario, se hacen ajustes para mejorar el rendimiento y los resultados a lo largo del tiempo.

Es importante destacar que este proceso es repetitivo y puede requerir ajustes y modificaciones a medida que se avanza en las diferentes etapas. La colaboración y coordinación entre los diferentes actores involucrados, como el gobierno, los expertos en ingeniería y topografía, y las comunidades locales, son fundamentales para garantizar el éxito y la sostenibilidad de los proyectos de mitigación de riesgos naturales.

- Investigar los factores sociales y culturales que pueden afectar la sensibilidad durante la implementación del proyecto, así como el comportamiento humano que puede exacerbar los fenómenos naturales.
- Asegurar que el desarrollo del proyecto sea justo para el usuario de la tierra de acuerdo a tecnología, recursos, know-how, información, mercadeo, etc.
- Preparar evaluaciones de riesgo y vulnerabilidad específicas para cada región y las acciones necesarias para reducir el riesgo del proyecto.
- Reducir el impacto negativo del proyecto, desarrollar fuera de las áreas sensibles y proponer cambios fundamentales en los patrones de uso de la tierra, así como restricciones apropiadas en los futuros patrones de uso de la tierra.
- Asegurar la compatibilidad de todas las iniciativas y propuestas.
- Identificar las políticas y herramientas de gestión necesarias para la implementación de proyectos específicos y planes maestros, desarrollar procedimientos de seguimiento adecuados.

Aplicación de recomendaciones de investigación

La cuarta etapa, la metodología, incluye el establecimiento de los mecanismos institucionales, financieros y técnicos necesarios para asegurar su efectiva implementación y operación. Si el proyecto se implementa sin medidas para reducir

los riesgos, el trabajo de evaluación de riesgos realizado en la etapa anterior será inútil. Para el implementador o planificador del proyecto es necesario:

- Garantizar que todos los proyectos de inversión incorporen estrategias adecuadas de gestión de riesgos, monitorear el cumplimiento durante la construcción y establecer métodos de monitoreo continuos para garantizar el cumplimiento constante de la metodología del proyecto.
- Garantizar que la información de la investigación esté disponible para los grupos nacionales de gestión de desastres. Se llama la atención sobre el hecho de que el informe no recomienda medidas para reducir el daño causado por la vulnerabilidad.
- Establecer la recopilación y corrección periódica de información sobre riesgos en las organizaciones que planifican y se preparan para los desastres.
- Desarrollar medidas legislativas para definir códigos de construcción y clasificación, leyes de zonificación y límites apropiados y cualquier otro marco legal necesario.
- Invertir adecuadamente en estrategias de mitigación de riesgos.
- Involucrar al sector privado en las medidas de reducción de empresas.
- Desarrollar programas nacionales de extensión y educación para poblaciones urbanas y rurales para apoyar iniciativas locales para reducir la vulnerabilidad.
- Obtener un amplio apoyo político, utilizar los medios de comunicación, los programas de capacitación y las relaciones con las organizaciones locales. Utilice los resultados de la investigación (p. ej., imágenes, mapas, gráficos, etc.) para las relaciones públicas. Involucrar a los participantes de la investigación en hablar en público para promover la idea de reducir la vulnerabilidad.
- Los proyectos que involucren la reducción de riesgos deben iniciarse lo antes posible. Si se recortan los presupuestos, se debe reducir el número de

proyectos, pero no se deben abandonar las estrategias de mitigación. («Estrategias de mitigación de amenazas en la planificación del desarrollo», s. f.)

2.1.1.2 Desastre/planificación/desarrollo

Los desastres están asociados con eventos naturales peligrosos (terremotos, huracanes, tsunamis, etc.) y condiciones físicas y socioeconómicas vulnerables específicas (condiciones económicas inestables, viviendas inestables, tipos de suelo inestables, etc.). malas condiciones de vivienda, etc.). En otras palabras, si uno o más fenómenos naturales peligrosos ocurren en una situación frágil, podemos decir que el riesgo de desastre es alto.

La evaluación actual tiene en cuenta el riesgo de inundaciones, por lo que el concepto se explica a continuación. Las inundaciones se pueden dividir en dos tipos. (1) inundaciones de ríos causadas por escurrimiento excesivo de tormentas; (2) Inundaciones costeras o marinas causadas por marejadas ciclónicas, intensificadas por la escorrentía de las tormentas. Un tsunami es un tipo especial de inundación costera. (Como entender los desastres. (2018).

- a. Inundaciones costeras: Una marejada ciclónica es un aumento inusual en el nivel del mar asociado con huracanes y otras tormentas marinas. Las olas de tormenta son causadas por fuertes vientos marinos, océanos y tormentas de presión extremadamente baja. Los niveles de agua están controlados por el viento, la presión atmosférica, las corrientes astronómicas, las olas, el suelo marino, el terreno costero, las profundidades cercanas a la costa y las tormentas. Los daños por marejadas ciclónicas generalmente resultan de:

- Los efectos físicos asociados con las olas y los canales (frentes de onda)

- El agua estancada/dinámica y la acción de bombeo a menudo causan daños a las estructuras estáticas debido al impacto directo de una marejada ciclónica.

Los efectos indirectos pueden provocar inundaciones y debilitar infraestructuras como carreteras y vías férreas. La influencia de las mareas, las mareas altas y el movimiento frecuente de los cursos de agua exacerbaron las inundaciones en las llanuras y otras áreas costeras bajas.

- b. Una crecida de río ocurre cuando se excede la capacidad de agua del cauce de un río, provocando que sus orillas se inunden. Las inundaciones son un fenómeno natural que se espera ocasionalmente en todos los cursos de agua. Los asentamientos humanos en áreas de llanuras aluviales son una de las mayores causas de daños por inundaciones

Por otro lado, al incorporar consideraciones de desastres naturales en la planificación del desarrollo y la formulación de proyectos, se deben considerar las siguientes pautas. Estas pautas se pueden resumir de la siguiente manera:

Estrategias de reducción de desastres en la planificación del desarrollo

La gestión de desastres naturales suele ser independiente de los planes integrales de desarrollo. La combinación de los dos procesos es importante. Entre los muchos componentes de la gestión de desastres naturales, las siguientes técnicas son las más adecuadas para el proceso de planificación:

- Nivel de peligro natural: es la ubicación, la gravedad y el nivel del desastre natural. La probabilidad de que ocurra un fenómeno natural en un período de tiempo determinado.
- Evaluación de la vulnerabilidad: estimación de pérdidas o daños potenciales. Causas fenómenos naturales de particular gravedad, incluidos daños a

edificios, lesiones personales e interrupción de actividades económicas y negocios normales en la comunidad.

- Evaluación de riesgos: estimación de la probabilidad de pérdidas esperadas. en algunos fenómenos naturales.

La Planificación Integrada del Desarrollo es un proceso interdisciplinario e interdisciplinario que involucra el desarrollo de criterios y estrategias de desarrollo, identificación de ideas de proyectos de inversión, preparación de proyectos, aprobación final, capital y desempeño.

Los beneficios de incorporar la gestión de amenazas en su plan de desarrollo son:

- Es probable que se utilicen medidas para reducir la vulnerabilidad como parte de un proyecto de desarrollo y no como una propuesta correctiva por derecho propio.
- Menores costos de mitigación de la vulnerabilidad si se utilizan medidas de mitigación. Hay lagunas en las fórmulas iniciales del proyecto, no cuando se combinan posteriormente los planificadores pueden ayudar a priorizar las investigaciones.

Las empresas de ciencia e ingeniería están más enfocadas en generar datos útiles para uso inmediato en la eliminación de las consecuencias del desastre.

- Incluir medidas para reducir la vulnerabilidad en los proyectos el desarrollo beneficia a las personas más pobres en los países del programa proyecto.

Técnicas y herramientas de evaluación de peligros naturales Sistema de Información Geográfica (SIG)

SIG es una dialéctica sistemática para la ubicación geográfica de la información de control de ubicación, lo que facilita el almacenamiento, la recuperación y la

inspección de datos operativos en forma de mapas y gráficos. Los sistemas pueden estar centralizados, pero la gestión de desastres, especialmente el proceso de planificación, requiere una gran cantidad de información y casi siempre está informatizada. SIG no tiene que ser costoso y puede mejorar significativamente la productividad de los técnicos. Su conveniencia puede ser mejor que lo que se puede lograr a mano («Estrategias de mitigación de amenazas en la planificación del desarrollo», s. f.)

Uso de la teledetección en la evaluación de peligros naturales

Los sensores estáticos se refieren a recursos que recopilan información de video utilizando sensores ubicados en aviones o satélites. Es posible adquirir sitios web que informen sobre fenómenos naturales que ocurren o identifiquen condiciones que podrían ocurrir. De esta manera, es posible identificar áreas potenciales de riesgo e incorporar medidas de mitigación en la planificación de recursos.

Método de mapeo especial

El mapeo especial es un método que consiste en crear mapas que integran información de diversas fuentes para analizar y representar la interacción entre fenómenos naturales y la ubicación de instalaciones importantes en una determinada área. Estos mapas son muy útiles para estudiar amenazas y vulnerabilidad, ya que permiten comprender de manera más completa la complejidad de los riesgos presentes en una región específica y desarrollar estrategias adecuadas para mitigarlos.

Existen dos tipos principales de mapas que forman parte del método de mapeo especial:

Los mapas de amenazas múltiples son atlas que combinan información sobre diferentes fenómenos naturales, como terremotos, inundaciones, deslizamientos de tierra, huracanes, entre otros. Al superponer estas amenazas, se pueden identificar áreas donde pueden ocurrir múltiples riesgos, lo que permite a las autoridades y planificadores priorizar las acciones de mitigación y preparación.

Los mapas de instalaciones clave son herramientas que destacan la ubicación de lugares importantes y sensibles en una región, como centros de emergencia, servicios públicos, hospitales, escuelas, entre otros. Identificar estas instalaciones es esencial para la planificación de emergencias, ya que permite a los equipos de respuesta y evacuación actuar de manera rápida ante desastres.

La combinación de mapas de zonas críticas y mapas de múltiples peligros proporciona una visión más completa de los riesgos a los que se enfrentan las instalaciones clave en una determinada área geográfica. Esto ayuda a los responsables de la toma de decisiones a diseñar planes de acción y medidas correctivas específicas y efectivas para reducir los posibles impactos de los desastres naturales. Además, estos mapas también son una herramienta útil para concienciar a la población local sobre los riesgos a los que están expuestos y promover la preparación y resiliencia comunitaria frente a posibles eventos adversos.

En resumen, el método de mapeo especial es una valiosa herramienta para la gestión de riesgos naturales y la planificación de emergencias, ya que permite una evaluación integral y sistemática de las amenazas y vulnerabilidades en un área específica, y facilita la toma de decisiones informadas para proteger a las comunidades y las infraestructuras clave.

2.1.1.3 Gestión del riesgo de desastres en proyectos de desarrollo

La gestión de riesgos es un proceso integral que busca identificar y comprender las posibles pérdidas y consecuencias negativas que pueden surgir debido a desastres naturales u otros eventos peligrosos. Su objetivo principal es tomar medidas preventivas y de respuesta para prevenir, mitigar y reducir el impacto de estos riesgos, asegurando la protección de las personas, las comunidades y las infraestructuras.

El riesgo es una combinación de dos variables:

Riesgo: Se refiere a la posibilidad de que ocurra un evento peligroso específico en una zona geográfica determinada y bajo un contexto regulatorio particular. Se trata de la probabilidad de que se produzca un desastre natural o evento perjudicial y cause pérdidas o daños importantes.

Vulnerabilidad: La vulnerabilidad se refiere al nivel en el que una comunidad, infraestructura o sistema está expuesta y es susceptible de sufrir daños o pérdidas debido a un evento peligroso. La vulnerabilidad puede estar relacionada con la falta de preparación, la debilidad de la infraestructura, la ubicación geográfica y otros factores que aumentan los riesgos.

El enfoque de gestión conjunta de riesgos se basa en tomar medidas tanto proactivas como reactivas para abordar los riesgos y la vulnerabilidad. Algunas de las estrategias clave que se enfatizan en este enfoque son:

- a) **Prevención y medidas preventivas:** Se refiere a la adopción de acciones y políticas para evitar o reducir la ocurrencia de eventos peligrosos. Esto puede

- incluir regulaciones de construcción, planificación urbana adecuada, control de calidad del agua y otras medidas preventivas. (Gestión del Riesgo, 2022)
- b) Preparación: Implica la realización de planes de emergencia, capacitación y simulacros para que las comunidades y las instituciones estén preparadas para responder eficazmente a un desastre. Esto incluye tener planes de evacuación, equipos de respuesta y sistemas de alerta temprana. (Gestión del Riesgo, 2022)
 - c) Asistencia económica y apoyo: Después de un desastre, es importante brindar apoyo financiero y recursos a las personas y comunidades afectadas para ayudar en la recuperación y reconstrucción. (Gestión del Riesgo, 2022)
 - d) Monitoreo y recuperación continua: Después de un desastre, se debe realizar un seguimiento continuo de la situación para evaluar el progreso de la recuperación y garantizar que las medidas de mitigación y reconstrucción sean efectivas. (Gestión del Riesgo, 2022)

En síntesis, la gestión de riesgos se enfoca en la implementación de estrategias preventivas y reactivas para hacer frente tanto al riesgo como a la vulnerabilidad. Al tomar medidas anticipadas y estar preparados para responder a los desastres, se puede disminuir de manera considerable el impacto negativo de los eventos peligrosos en las personas y las comunidades.

A pesar de los avances en la investigación sísmica e hidrometeorológica en América Latina, todavía hay limitaciones en la disponibilidad de información sobre desastres y vulnerabilidades en la región. Esta falta de información puede dificultar el trabajo de los evaluadores de daños y los responsables de formular políticas, lo que a su vez puede afectar la eficacia de las medidas de prevención y mitigación de desastres.

En América Latina, los eventos naturales más frecuentes que causan desastres suelen ser inundaciones, huracanes, deslizamientos de tierra, terremotos y sequías. Estos fenómenos pueden tener consecuencias importantes en la población, la infraestructura y la economía de la región.

Sin embargo, es importante señalar que el impacto causado por estos fenómenos naturales a menudo se agrava debido al entorno creado por el ser humano. En las últimas décadas, la urbanización descontrolada, la falta de planificación adecuada, la pobreza y la marginación, los cambios en la infraestructura y las medidas de precaución insuficientes han llevado a la construcción inapropiada de edificios y la falta de consideración por el entorno. Todo esto aumenta el riesgo, por lo que es necesario recurrir a enfoques más tradicionales. Por lo tanto, ante la mala gestión de los desastres que ya están ocurriendo, es prioritario enfocarse en la prevención y abordar las causas y factores de los desastres. Los conceptos y procesos se pueden resumir en las etapas del ciclo de riesgo económico.

A nivel de ministerio, en el marco del proceso de Gestión de Riesgos, se llevarán a cabo acciones específicas, estrategias e institucionalización de la gestión de daños basada en proyectos de prevención, preparación y respuesta, liderados por actores regionales como departamentos, ciudades y regiones, en coordinación con la gestión de riesgos y desastres. El concepto de políticas internas permite adaptaciones a diferentes escalas. En Colombia, la Ley de Organismos Gubernamentales establece en el Decreto Ministerial No. 1454 del 28 de junio de 2011 la administración política local y define el marco institucional que rige las unidades y territorios involucrados. Esto está relacionado con la planificación urbana, que permite realizar cambios en los documentos.

Las normas territoriales tenían por objeto representar un aumento de las unidades de poder, planificación, administración y administración por territorio, y oponer

semejanzas y voluntades semejantes que faciliten las condiciones del Estado, las instituciones y los municipios, propias de cada localidad, así como la moral entre los gobiernos. Propiedad Reconocido (Congreso Colombiano, 2011, p. sus). Por ley del 24 de abril de 2012 No. En 1523, se adoptó la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, se estableció el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) y se certificaron los Estándares de Gestión del Riesgo de Desastres a Nivel Distrital a través del Enfoque de Gestión del Riesgo de Desastres a Nivel Distrital. Según la Ley 1523 (Parte 1), “la gestión de daños y pérdidas es una política de recursos necesaria para garantizar la paz interior y complementar la viabilidad de las poblaciones y comunidades en peligro”.

Método de análisis de vulnerabilidad del peligro de inundación de la cuenca hidrológica

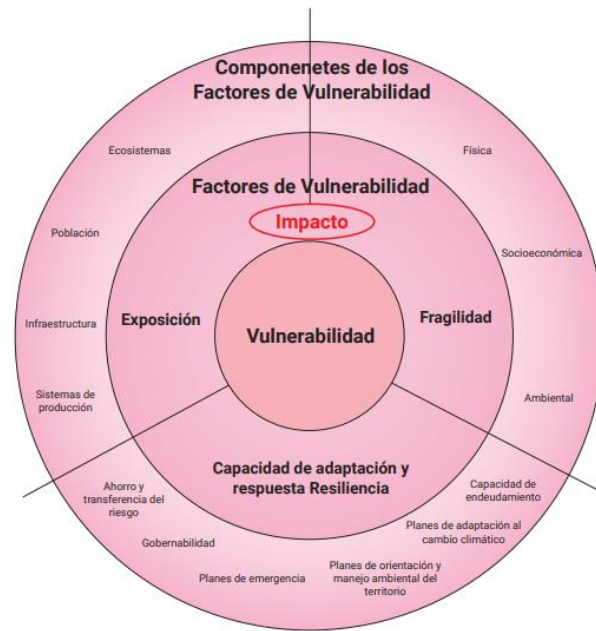
Un enfoque holístico de los factores de riesgo de desastres.

Las amenazas son procesos externos e internos del sistema que interactúan con él a una velocidad razonable, de origen humano o social-natural, y son capaces de idealizar lenta o repentinamente cambios significativos en él. En esta lesión se refiere a la naturaleza física de los genios que tienen efectos adversos o daños en los suelos, los ecosistemas que utilizan o sus fundamentos espirituales. En este uso, la difusión de configuraciones ambientales o territoriales se enfatiza instintivamente como sujetas a múltiples perturbaciones (amenazas) interrelacionadas. («Como entender los desastres», 2018)

La vulnerabilidad se define como una característica del sistema que determina su grado de exposición y capacidad para anticipar, sobrevivir, responder y recuperarse de amenazas tanto naturales como sociales. Esta vulnerabilidad puede variar según el tipo de amenaza o interrupción que afecte al sistema.

La vulnerabilidad está relacionada con patrones de procesamiento ambiental grupal, disponibilidad e incertidumbre de elementos de sobrevivencia, hacinamiento, conocimiento, empresas sociales, percepción social de primas, competencia institucional, equilibrio ambiental, efectividad vacunal, respuesta o recuperación, etc. La razón. otros aspectos. La vulnerabilidad tiene tres componentes principales: manifestación frente a amenazas naturales, socio naturales o antropogénicas; la poética o vulnerabilidad del principio revelado y la capacidad de conocer o recuperar («Como entender los desastres», 2018)

Ilustración 1. Factores de vulnerabilidad y sus componente o subsistemas



Fuente: Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas

La exposición como factor de vulnerabilidad se refiere al nivel de amenazas potenciales a los ecosistemas, ciudades, infraestructura y sistemas productivos considerados en el estudio.

Incierto en sí mismo se refiere al nivel inherente de susceptibilidad a los elementos afectados por el daño anticipado; los componentes de la inseguridad son físicos, socioeconómicos y ambientales. La capacidad de respuesta y las habilidades de adaptación se relacionan con la elección de una comunidad para monitorear, ser responsable, recuperarse y adaptarse a los cambios dramáticos en las condiciones normales de vida que resultan de un desastre. Abarca los niveles de gobernanza, alfabetización, eficacia de la distribución local y la gestión ambiental, los niveles de alimentación y el desarrollo de planes de gestión de daños y emergencias, la capacidad de asumir responsabilidades y la capacidad de reducir y transferir pérdidas a través de pólizas de seguro. (JPF Pereira, 2005)

Otras cosas. Por el contrario, esta parte de la vulnerabilidad se puede codificar a través de la definición de apertura de la resistencia, que es un umbral porque básicamente se refiere a la apertura con la que las configuraciones territoriales deben resistir los movimientos disruptivos antes de que puedan experimentar un desarrollo fundamental. La eficiencia adaptativa requiere que los ecosistemas se adapten a cambios significativos en su rango y selección para acomodar un comportamiento de perturbación repentina o no repentina para poder funcionar en presencia de cambios cualitativos o cuantitativos. (JPF Pereira, 2005)

Aunque la riqueza de información y jurisprudencia sobre la gestión de desastres y la planificación de cuencas hidrográficas sugiere que el riesgo es un continuo interesante para incluir en la política nacional, a menudo se pasa por alto porque los datos se utilizan a menudo para las amenazas (no sin orígenes dialécticos). («Estrategias de mitigación de amenazas en la planificación del desarrollo», s. f.) Ignorar o reducir las expectativas de investigación y especificidad de vulnerabilidades. Esto es claramente visible en el plan de manejo de cuencas, el cual, además de las pautas de la Norma 1729 de 2002 y las pautas científicas técnicas para la ubicación y el manejo de cuencas hidrológicas, primero examina

los factores de daño a partir de las observaciones de amenazas. Es desafortunado aquí que se carezca de un modelo analítico universal para los peligros y su acoplamiento en los planes de manejo de cuencas hidrográficas y, en cambio, se calcule mal el impacto de la Sección 1640, la Ley 1523 y las Directrices Conjuntas B para la Planificación del Manejo de Cuencas Hidrológicas.

2.1.1.4 El ordenamiento territorial para la gestión del riesgo de desastres en Colombia

En Colombia la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial (LOOT) es una de las herramientas que permitió la reestructuración del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo, generando que los entes territoriales pudieran organizarse en una gestión conjunta al nivel central, bajo los principios de descentralización, coordinación, complementariedad y concurrencia; esto con el objetivo de fomentar acciones estratégicas coordinadas hacia el conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de la emergencia. De esta manera, la LOOT ha permitido mejorar las competencias de los entes territoriales para la gestión del riesgo de desastres, por medio del traspaso de mayor autonomía del nivel nacional hacia los departamentos y municipios, así como el fortalecimiento de asociaciones municipales como el caso del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y su plan intermunicipal de gestión del riesgo —Red Riesgos—. (Ramírez, 2017)

Según Becker, Chica & Cárdena (2003), el ordenamiento territorial hace parte del diseño de una estrategia político administrativa por parte del Estado, con el objetivo de lograr una articulación entre los intereses de la población, las instituciones y el territorio. “En otras palabras, se insiste en considerar el ordenamiento territorial como una condición para garantizar que la descentralización cumpla con los objetivos de alcanzar bienestar social, legitimar el sistema institucional y promover la productividad económica” (Becker et al., 2003, p. 9).

Desde este punto de vista, se considera al ordenamiento del territorio como una estrategia que permite mayor autonomía para el desarrollo económico y social de los entes territoriales, recalcando el papel que tiene el nivel local hacia la consecución de este objetivo. Esto permite legitimar las acciones de los territorios encaminadas en aprovechar y dinamizar las variables sociales, económicas, ecológicas y políticas propias de su entorno, permitiendo desarrollar ventajas comparativas y competitivas.

En Colombia, desde la Constitución de 1991 se considera al territorio como una dimensión fundamental para el desarrollo económico y social. Desde entonces, la Constitución brindó mayor legitimidad democrática a los entes territoriales, permitiendo ampliar las relaciones políticas entre la sociedad y el territorio que habita. De esta manera, el reconocimiento del municipio como la entidad fundamental de la división político-administrativa del Estado en el artículo 311 de Constitución puede llegar a cambiar el sentido del concepto de construcción de nación.

La Ley 388 de 1997 en el artículo 5^o define el ordenamiento territorial municipal como:

...Un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la función pública que les compete, dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales (Congreso de Colombia, 1997, p. 2).

Entendido el ordenamiento territorial como una función pública para la acción administrativa y la planificación, la gestión del riesgo de desastres naturales se convierte en unas de las líneas de acción fundamentales para continuar con el desarrollo territorial, mediante la utilización, transformación y ocupación del espacio. Por esta razón, la ley 388 determina que uno de los objetivos del ordenamiento territorial a nivel municipal es la gestión del riesgo de desastres y por lo tanto es necesario:

[...] el establecimiento del mecanismo que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la prevención y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamiento de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes (Congreso de Colombia, 1997, p. 1).

Por lo tanto, la ley considera, entre otros aspectos, “mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante el riesgo de desastres naturales” (Congreso de Colombia, 1997, p. 2). Para este fin, la ley establece las competencias de la nación, los departamentos, las áreas metropolitanas y los municipios otorgando responsabilidad, a cada uno, sobre la planificación urbano-territorial, el uso del suelo y la elaboración de planes y proyectos que contemplen la protección del medio ambiente y la seguridad de la población.

Según la Ley, dentro de las responsabilidades, de cada uno de los entes territoriales, en relación con el ordenamiento territorial y la gestión del riesgo de desastres naturales se desatanca: a) a la nación le compete el ordenamiento territorial de interés nacional como las áreas protegidas y los parques nacionales; b) a los departamentos les corresponde la elaboración de directrices y orientaciones para el ordenamiento territorial en función de los objetivos de desarrollo,

potencialidades y limitantes biofísicos, económicos y culturales; y definir las políticas de asentamientos poblacionales en centros urbanos; c) al nivel metropolitano le corresponde elaborar el plan integral de desarrollo metropolitano así como definir las normas y criterios por las cuales los municipios se regularán; la delimitación de áreas protegidas estratégicas en la generación de bienes y servicios ambientales; d) los municipios deberán formular y adoptar los planes de ordenamiento territorial, reglamentar los usos del suelo a nivel urbano y rural, y coordinar los planes sectoriales como la gestión del riesgo de desastres con los planes a nivel departamental, metropolitano y nacional. (DRC Ramírez, 2017)

Según el artículo 8º de la Ley 388:

La función pública del ordenamiento del territorio a nivel municipal y distrital se ejerce mediante la acción urbanística referida a las decisiones administrativas y a las actuaciones urbanísticas que le son propias, relacionadas con el ordenamiento del territorio y la intervención en los usos del suelo. (Congreso de Colombia, 1997, p. 5)

Dentro de la acción urbanística relacionada con la gestión del riesgo de desastres, el conocimiento del riesgo con la determinación de los diferentes tipos de amenazas y vulnerabilidades, se convierten en una de las estrategias para la reducción del riesgo. Así mismo, se contempla la conservación y sostenibilidad de ecosistemas estratégicos que sustentan el equilibrio entre las relaciones sociedad y naturaleza.

1) determinar las zonas no urbanizables que presenten riesgos para la localización de asentamiento humanos, por amenazas naturales, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda 2) localizar las áreas críticas de recuperación y control para la prevención de desastres, así como las áreas con fines de conservación y recuperación paisajística. 3) Identificar y caracterizar los ecosistemas de importancia ambiental del municipio de acuerdo con la autoridad

ambiental de la respectiva jurisdicción, para su protección y manejo adecuados (Congreso de Colombia, 1997, p. 6).

Por otra parte, la función del ordenamiento territorial, como un instrumento de planificación y de gestión de las entidades territoriales, está regulada por la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial (LOOT) 1454 de 2011.

Los principios de la LOOT, están enfocados principalmente hacia: a) la promoción de una mayor delegación de funciones y competencias del nivel nacional hacia el orden territorial (Art, 21, 26, 27, 28, 29); b) la eliminación de duplicidades de competencias entre la administración central y los entes territoriales (Art, 26, 27, 28, 29); c) el fortalecimiento de las Regiones de Planeación y Gestión y las Regiones Administrativas y de Planificación (Art 10, 16, 19); d) el fortalecimiento del departamento como nivel intermedio (Art 22, 29); e) el fortalecimiento del municipio como entidad fundamental de la división político administrativa del Estado (Art 3, 29) ; f) la acción conjunta y articulada de los diferentes niveles de gobierno a través de alianzas, asociaciones y convenios de delegación (Art 29, 30); g) el diseño de modalidades regionales de administración para el desarrollo de proyectos especiales (Art 10, 12, 13, 14, 15, 16, 19); h) el incremento de la productividad y modernización de la administración municipal (Art 3, 29).

Según la Constitución Política de Colombia (1991), son entidades territoriales los departamentos (32), los distritos (6), los municipios (1123 en total) y los territorios indígenas. Así mismo, podrán llegar a constituirse entidades territoriales las regiones y provincias. El artículo 287 de la Constitución, dicta que las entidades territoriales gozan de autonomía para la gestión de sus intereses dentro de los límites de la Constitución y la Ley, respaldados por el principio de descentralización. “El proceso de descentralización colombiano se inició siguiendo la tendencia observada en América Latina, con la firme intención de mejorar el desempeño de

los gobiernos subnacionales para contribuir al desarrollo económico y al mejoramiento de la calidad de vida” (Bonet, Pérez & Ayala, 2014, p. 3).

Descentralización

Colombia, bajo la Constitución de 1991, es una república unitaria donde se proclama el principio de descentralización, reconociendo la gran diversidad social y biofísica del país; con lo cual, se otorga autonomía a los entes territoriales para liderar su propio desarrollo mediante el aprovechamiento de sus ventajas competitivas y comparativas. Para que cada territorio pueda llevar a cabo este propósito, la Constitución define la descentralización como principio de la acción de todas las ramas del poder público y, en especial, de la Administración Pública. De esta manera, se otorga un traspaso de funciones de un nivel de gobierno a otro, otorgando competencias administrativas, fiscales y políticas (Manrique, 2010; Revéz, 2013).

Las reformas de descentralización pueden atribuirse a una crisis de gobernabilidad y legitimidad del Estado colombiano, como lo afirma Cabrera & Naranjo (2003) quienes, a través del análisis de estudios realizados por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), afirman que Colombia se caracterizó, durante la administración centralista, por las restricciones a la democracia, el deterioro en la provisión de bienes y servicios públicos locales, especialmente en los municipios más pequeños y atrasados. Esto conllevó a la búsqueda de mecanismos más eficientes en la asignación de recursos, basados en la teoría económica y el federalismo fiscal.

A pesar de este eclecticismo político, Colombia se ha constituido como un Estado Unitario Descentralizado, concepto que describe Trujillo (2007), como una forma institucional del centralismo político, en la cual todos los atributos del poder emanan

de una sola jerarquía constitucional que se proyecta sobre la organización general del Estado, pero, con la coexistencia de centros diversos, institucionalmente organizados para el impulso y el ejercicio de la administración pública.

De las relaciones entre autoridades centrales y descentralizadas se desprenden los conceptos de descentralización política, económica administrativa y fiscal, cuyos ámbitos pueden manejarse de forma complementaria o en forma independiente como lo explica Trujillo (2007). En términos de una descentralización integral, el traslado de competencias abarca todos los campos referidos. Sin embargo, puede haber descentralización administrativa con centralización fiscal.

Según Falleti (2010), la autonomía de los entes territoriales en las competencias administrativas, fiscales y políticas no se presentan simultáneamente. En el caso colombiano, primero se produjo una descentralización política, seguida de una fiscal y administrativa. Siguiendo a Falleti, el orden en el cual se produce cada una de las autonomías, repercute finalmente en el grado de autonomía administrativa. Según él, si bien Colombia obtuvo en primera medida una autonomía política, a nivel administrativo y fiscal muchos de los entes territoriales actualmente tienen una dependencia del nivel central.

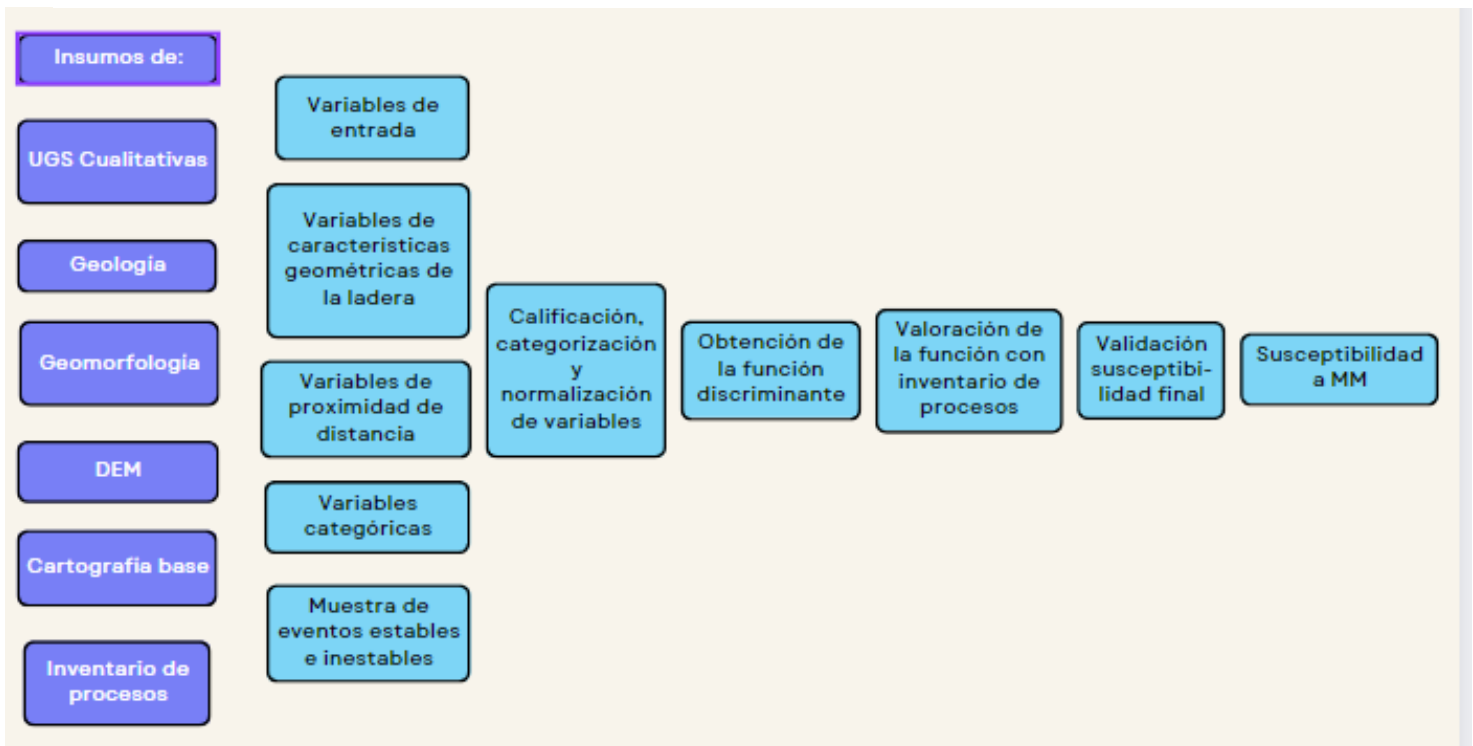
2.1.1.5 Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas.

El primer paso en este proceso es la determinación de variables indicadas por Nuria (2001) en Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014 para lo cual de acuerdo al evento y a las características de las zonas de estudio se establecieron variables condicionantes como pendiente de ladera, pendiente senoidal de la ladera, rugosidad, curvatura, curvatura longitudinal, curvatura transversal, orientación de la ladera, insolación, distancia a drenajes, distancia a vías, distancia

a fallas y lineamientos, distancia a canteras, acumulación de cuenca, longitud de cuenca acumulada, pendiente media de cuenca vertiente, geología, geomorfología, UGS (Unidades Geológicas Superficiales) y cobertura).

Fuente: Protocolo para la Incorporación de la Gestión de Riesgo en POMCAS, 2015.

Ilustración 2. Metodología para obtener susceptibilidad a movimientos en masa



Para el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa se realizó una evaluación de factores de procesividad dentro de un análisis multivariante discriminante para la asignación de coeficientes o pesos dentro de una función discriminante ajustada por una variable agrupación definida como sitios estables e inestables considerando la metodología planteada por Carrara (1991), Baeza (1996), Nuria (2001), Santacana (2003) y Cardona (2013). A partir de lo anterior y una vez obtenido el mapa de susceptibilidad para procesos de remoción en masa en el área la cuenca

hidrográfica del río se procede a realizar el análisis de la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa.

A continuación, se describen las variables para la ponderación de los factores condicionantes:

- Selección de la muestra de análisis (MM_LM_MOVT)

Está asociado con el inventario de movimientos en masa ubicados en la cuenca y es la información base para la ponderación de variables que participan en el modelamiento de la susceptibilidad clasificando los eventos en estables e inestables, como se ve representado en la Figura 8. Los sitios inestables (variable Z_INESTABLE) surgen del inventario de procesos desarrollado con fotointerpretación de procesos morfodinámicos, subunidades geomorfológicas de origen denudacional que representen un evento inestable (deslizamientos Dco, Dldi), y trabajo de campo, de los catálogos históricos de eventos por movimientos en masa asociados a inestabilidad. Por su parte, los sitios estables corresponden con ubicación aleatoria de puntos donde se asume que son áreas estables por no tener eventos históricos ni inventario de procesos por movimientos en masa. La muestra de análisis se puede obtener extrayendo un porcentaje de la población total elegida de manera aleatoria y que sea representativa de la población total. Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la siguiente:

$$Tamaño\ de\ la\ muestra\ (n) = k^2 pq Ne^2(N-1) + k^2 pq$$

Fuente: Protocolo para la Incorporación de la Gestión de Riesgo en POMCAS, 2015.

N: es el tamaño de la población, esto es 1498 procesos inestables.

k: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos que indica la probabilidad de que los resultados de la investigación sean ciertos. Típicamente

se usa un nivel de confianza del 95% que corresponde con un valor de k igual a 1.96.

e : es el error deseado si se compara la población con la muestra. Se usa generalmente un error de 5%.

p y q son proporciones de individuos que poseen la misma característica de estudio. Son valores desconocidos por lo cual se asumen con valor de 0.5.-

Al calcular el tamaño de la muestra se obtiene un valor que se considera menos representativo para el tamaño de la cuenca en comparación con el total si se tiene en cuenta que es preciso definir puntos estables y generar un factor de agrupación para aplicar el discriminante. Es definitivamente mejor usar toda la población y no una muestra pues, según Cardona (2013), es preferible obtener un modelo con mayor sensibilidad que clasifique correctamente la mayor cantidad de deslizamientos.

Debido a que el análisis discriminante trabaja bien cuando las poblaciones (celdas estables e inestables) tienen un tamaño similar en la muestra (Baeza, 1994), se definieron sitios estables que corresponden con ubicación aleatoria de celdas donde se asume que son áreas estables por no tener eventos históricos ni inventario de procesos por movimientos en masa. Finalmente, la unión de zonas inestables y estables definidas, al ser completamente independientes entre sí como celdas relacionadas se toma completa como muestra de análisis para no descartar casos importantes dentro del modelo.

Factores condicionantes

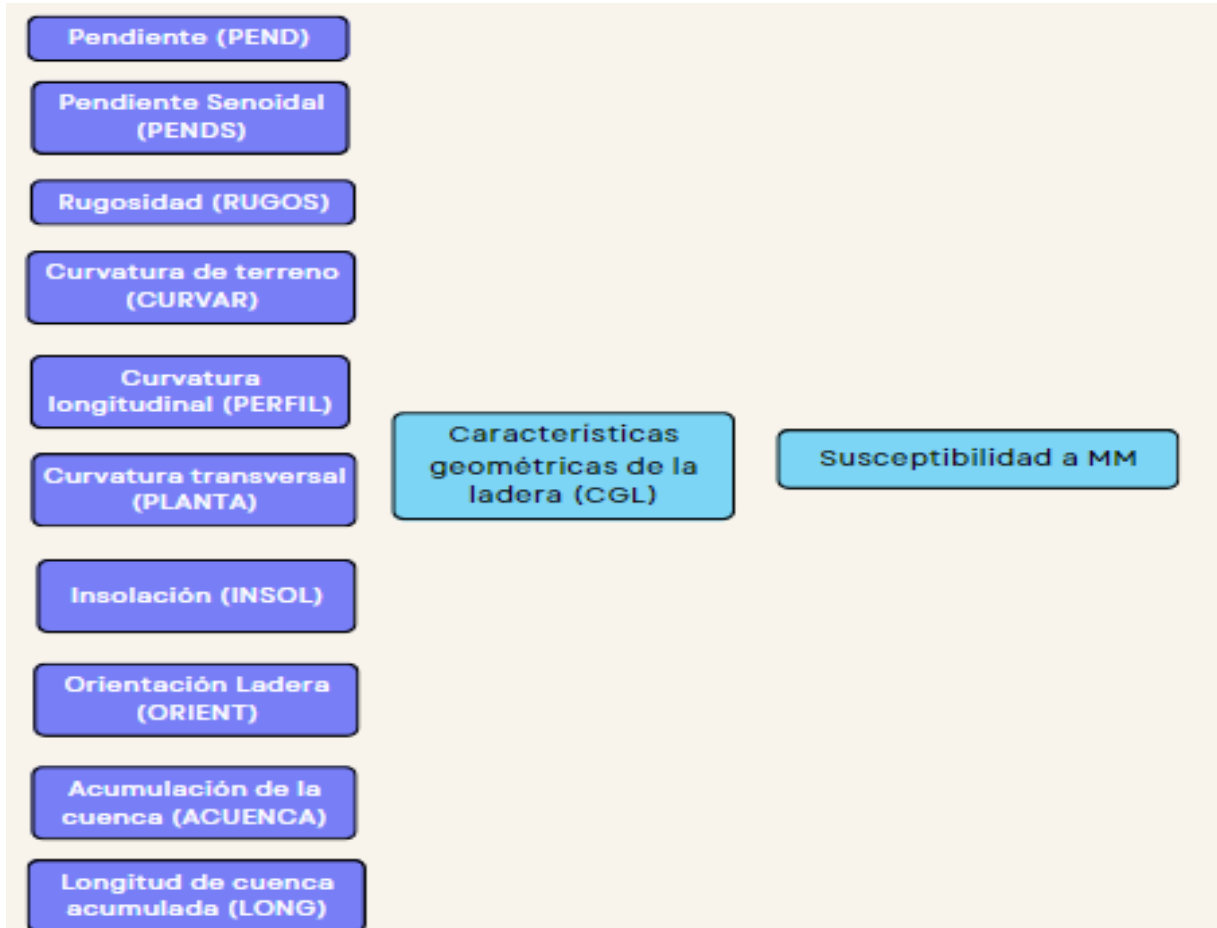
Modelo digital de elevación (DEM)

El modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) (Figura 9) es una matriz tipo ráster en la que el valor de cada pixel corresponde a la altitud sobre el nivel del mar en metros del mismo. Este factor constituye el insumo de entrada para obtener las variables que componen las Características Geométricas de la Ladera (CGL): PEND, PENDS, ASPECT, INSOL, RUGOS, CURVAR, PERFIL, PLA, ACUENCA Y LONG. Dichas variables se describen en el siguiente numeral. Formato: ráster (Valor de celda indica el valor de la elevación). Resolución 12.5 m.

Características geométricas de la ladera (CGL)

Las variables que constituyen las características geométricas de la ladera, también llamadas variables derivadas del DEM para el sector de la cuenca hidrográfica del río, incluyen: Pendiente de ladera, Pendiente senoidal de ladera, Rugosidad, Curvatura del terreno, Curvatura longitudinal, Curvatura transversal, Insolación, Orientación ladera, Acumulación de la cuenca y Longitud de cuenca acumulada se encuentran representadas en la y se definen a continuación.

Ilustración 3 Factores condicionantes derivados de las características geométricas de la ladera Pendiente de la ladera (PEND)



Fuente: Protocolo para la Incorporación de la Gestión de Riesgo en POMCAS, 2015.

Hace referencia al ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, su importancia radica en la influencia del factor sobre la estabilidad del suelo como factor geométrico (Figura 11).

Para esta variable, se normalizaron sus valores entre 0 y 1, siendo 0 muy poco susceptible y 1 muy susceptible. Sin embargo, la variable se mantiene con valores graduales continuos y no se agrupa por rangos a pesar que típicamente se haga y se solicite en los alcances técnicos del presente estudio; esto porque esta

agrupación es solamente aplicable en métodos heurísticos geomorfológicos y no para métodos heurísticos semicuantitativos, estadísticos o determinísticos en los que mantenerse cualitativamente significa reducir resolución y calidad de las variables empleadas.

2.1.1.6. SIG (Sistema de información geográfica)

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema utilizado para describir y clasificar pavimentos y otras áreas geográficas con el fin de mostrar y examinar datos espaciales. Esta tarea se realiza principalmente utilizando mapas. Neutral GIS se trata de crear, compartir y calcular documentos útiles basados en mapas que respaldan las misiones de las organizaciones, así como la producción y gestión de información geográfica relevante. (Introducción a SIG | ArcGIS Resource Center, s. f.)

Los mapas representan un conjunto lógico de información geográfica en forma de capas de mapas. Estas son buenas metáforas para modelar y representar materiales geográficos como capas objetivas. Los mapas GIS interactivos también proporcionan una interfaz de usuario para padres donde se utiliza información geográfica.

¿Cómo se usan los mapas para asignar SIG?

Hay un género interesante de mapas llamados mapas GIS, pero son más que representaciones de mapas estáticos. Los mapas GIS son persianas interactivas para todos los documentos geográficos y datos descriptivos, no solo modelos de topografía espacial enriquecidos creados por profesionales GIS.

Los mapas GIS se utilizan para:

- Anunciar y compartir GIS

- Resumir y estandarizar los contenidos de GIS
- Cálculo matemático y protección de materiales geográficos según la atmósfera de los niveles objetivo.
- Obtención de nuevo material mediante tratamiento geológico, para luego invertir, codificar, adivinar, visualizar e interpretar los resultados rectales.
- Información geoespacial lado a lado para usar en la web
- En GIS, el mapa es la interfaz.

Cartografía Digital

Tradicionalmente, la cartografía se presenta en papel utilizando una serie de técnicas presentadas en el banner frontal, por lo que el análisis no produce un medio más adecuado. Este mapa es adecuado para ciertos usos debido a su alcance y movilidad, pero también tiene ciertas ventajas.

Los datos originales se simplifican (mejoran) para que el plan sea legible. Este método pierde muchos detalles locales.

Un área grande se divide en varias páginas, que muestran información diferente sobre sus contornos si fueron creados por diferentes autores. Combinar información de diferentes mapas es complejo y fácil de imitar, especialmente a diferentes escalas.

Son documentos caros, estáticos y tardan años en actualizarse. Es de naturaleza cualitativa porque el rendimiento de las mediciones cuantitativas no se ve afectado por el uso de métodos de separación. Esto implica una considerable arbitrariedad de la utilidad.

A mediados del siglo XX se produjeron una serie de fenómenos que dieron lugar al proceso de cartografía digital:

- Crecen demandas como la disponibilidad de datos espaciales y técnicos para la investigación.

- En la prisa por dominar la cubierta terrestre que cambia rápidamente debido a procesos dinámicos, los mapas en papel simplemente no son la herramienta adecuada debido a su naturaleza estática.
- Las responsabilidades en varios ejes de análisis básico y aplicado en ciencia vial y medio ambiente en general incluyen la estandarización de múltiples mapas que representan diferentes cargas en diferentes lugares de una misma región, diferentes tiempos de montaje y el uso de bases de datos temáticas.
- Un grupo de desarrollo de tecnología llamado Global Information Technology ha aprobado la gestión de grandes cantidades de datos espaciales a muy bajo costo.
- Desarrollo de herramientas para mecanizar y digitalizar mapas.
- Herramientas y programas de recursos para la integración y el descubrimiento, especialmente los Sistemas de Documentación Geográfica (GIS).
- Material complementario disponible a intervalos regulares de sesión (imagen del kit Satjet).
- Los ahorros en hardware (Ley de Moore¹⁵) harán que los SIG y la teledetección dejen de ser una prerrogativa de los grandes centros analíticos y agencias gubernamentales.
- Arrancar CD y cambiar de Internet sin preocuparse por los costos de almacenamiento y organización de documentos digitales.

Las diferencias básicas entre los mapas en papel y los mapas digitales son:

- Los mapas en papel tienen cierto estilo, pero los mapas digitales son dinámicos en el sentido de que están muy actualizados. Comienza con aspectos técnicos obsoletos y está actualizado.
- La información debe estar estructurada de manera adecuada y clara para que el programa pueda ser interpretado. Las computadoras no pueden inferir que la información eliminada o modificada por el proceso de propagación pueda estar en uso. Un prototipo común es un corte curvo inclinado para anclar un vagón de texto.
- El conocimiento de Quebrada se presenta como un archivo que contiene subdocumentos de una variable o parte de un clasificador (en algunos casos, un clasificador puede contener varias clases). Las definiciones de caracteres están

reservadas para la estandarización de clases preparadas para visualización o mejora. No mezclar materiales de diferentes categorías en el mismo sedimento.

Tradicionalmente, se han subdividido tres tipos de programas para el procesamiento de datos espaciales.

- Programas CAD (Diseño Asistido por Computadora). Puede trazar puntos, líneas y regiones en lugar de romper el sistema de coordenadas restringido por el usuario. Han recibido un trato especial en sus bloques, ingeniería y diseño. Por el contrario, incluso se puede utilizar de forma limitada para crear mapas.
- Programas de mapeo del ciberespacio. Los programas que crean etiquetas con impresoras de mensajes usan diferentes caracteres para representar diferentes entidades o utilidades.
- Programa de Teledetección. Permiten activar la tarjeta como imagen de nueva adquisición para separarla de la imagen original tomada por Sacremencia. Hasta principios de la década de 1990, el poder limitado de las computadoras personales requería hardware propietario.

Todos estos programas, junto con otros programas como los programas de administración de bases de datos y aplicaciones estadísticas, comenzaron a converger en una estrella por categoría a principios de la década de 1970. Nueva computadora, sistema de documentos geográficos (SIG) Orientado a la codificación, administración y mapeo de variables espaciales y entidades.

SIG ha evolucionado con el tiempo para reunir conceptos, ideas, métodos de delegación, vocabulario y sesgos de expertos en varios campos. La interacción de estos expertos significa que el proceso no siempre tiene el mismo liderazgo y que existen desacuerdos legítimos dentro de IMS. Como es costumbre, el último día asisten cartógrafos y el segundo día ecologistas, teniendo en cuenta la liturgia asignada a la asamblea. En el primer caso, no se tiene en cuenta la edición, mientras que, en el segundo caso, la investigación realizada en el ensayo avanza

con relativa rapidez. (Introducción a SIG | ArcGIS Resource Center, s. f.)
(Introducción a SIG | ArcGIS Resource Center, s. f.).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Avenida torrencial: Las avenidas torrenciales son fenómenos naturales que, aunque tienen una ocurrencia relativamente baja, por su gran potencial destructivo, son de particular interés para evaluar los riesgos naturales a los que se encuentra sometida una determinada cuenca. Entre las razones que existen para que este tipo de evento sea tan dañino están su naturaleza casi impredecible, la rapidez a la cual ocurre, su corta duración y su largo período de retorno, así como su distribución poco uniforme en el espacio y el tiempo González, Chávez y Hermelín (1994).

En Colombia por las características topográficas de la zona andina, este fenómeno se presenta con una relativa mayor frecuencia. Según INGEOMINAS “las avenidas torrenciales son una amenaza natural muy común y posiblemente la menos estudiada en Colombia; sin embargo, causan grandes pérdidas en vidas humanas e infraestructura. Solamente entre 1985 y 1995, más de 40 avenidas torrenciales altamente destructivas ocurrieron en el país, con más de 200 pérdidas de vidas humanas y cuantiosos daños a viviendas, sistemas de generación de energía, carreteras y tierras cultivables” (Polanco y Bedoya, 2005).

Para planificar adecuadamente la ocupación del territorio y en particular una cuenca hidrográfica, es necesario tener en cuenta la amenaza asociada a avenidas torrenciales y especialmente en cuencas urbanizadas en las que sus posibles efectos adversos sobre la población, la economía y la infraestructura urbana son muy altos.

La avenida torrencial y los movimientos en masa relacionados que ocurrieron el 31 de enero de 1994 en la cuenca del río Fraile, fenómeno que generó severas consecuencias para los habitantes del poblado de Florida (Valle del Cauca). En dicho estudio se analizaron diversas causas del fenómeno, y se encontró que muchos aspectos geomorfológicos (como el tamaño de la cuenca; el intervalo entre la precipitación y la descarga pico; la forma de la cuenca; la localización en altas montañas con relieves abruptos y clima húmedo; la variabilidad en la descarga; y la red de drenajes) influyeron en la generación del evento.

Se concluyó que la avenida torrencial en el río Fraile en 1994 fue un evento de gran magnitud con un período de retorno posible medido en cientos de años. Algunas características geomorfológicas intrínsecas hacen de esta cuenca un área propensa a la generación de avenidas torrenciales; sin embargo, la ocurrencia de una inundación de grandes proporciones, que deje grandes depósitos torrenciales, requiere una combinación particular de precipitación y de saprolito removido

Geología: La palabra geología deriva del griego "geo" que significa tierra, y "logos" tratado o conocimiento, por lo tanto, se define como la ciencia de la tierra y tiene por objeto entender la evolución del planeta y sus habitantes, desde los tiempos más antiguos hasta la actualidad mediante el análisis de las rocas.

Es considerada como una ciencia histórica ya que parte de la premisa de que el relieve actual de la Tierra es el resultado de una larga y variada evolución, por ello analiza este desarrollo espacial y temporal para señalar los factores y fuerzas que actuaron en el proceso y que le han dado la forma que actualmente conocemos, tanto en el exterior como en el interior de nuestro planeta.

Las rocas de la corteza terrestre, los restos petrificados y los rastros de los organismos (fósiles), son elementos que se han utilizado para hacer la historia

biológica ya que representan documentos y testimonios que permiten a los geólogos, deducir las condiciones y los acontecimientos de los siglos pasados.

La geología se apoya en los principios de la física que tratan sobre las leyes de la energía y de la estructura atómica; en los principios de la química que se refieren a la composición y a las interacciones de los materiales; algunos otros de la biología y la astronomía, dando origen a otras ciencias como la geofísica, la geoquímica, la paleontología, la geobotánica y el zoo geología.

Litología. Se trata de la ciencia que estudia las rocas, incluyendo el origen, edad, composición, estructura y distribución a lo largo del planeta. Esta rama de la ciencia tiene su origen la antigüedad que comenzó con diversos aportes de riegos, chinos y árabes, entre otras civilizaciones. Los aportes de la parte occidental del mundo son más conocidos los de Aristóteles y de su discípulo Teofrasto en su obra Sobre las rocas.

La litología es una disciplina que clasificar las rocas a partir del estudio de sus propiedades tanto físicas como químicas. También se clasifican según los procesos que da origen a las rocas. En función de ello, se establece en tres grandes tipos de rocas: rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Aunque en general y los términos de litología y petrología se consideran sinónimos, hay quienes establecen diferencias sutiles. Por ejemplo, cuando lo referimos a la litología no referimos al estudio de la composición de la roca que tiene un área definida. Es decir, cogemos un área y estudiamos los diferentes tipos de rocas que existen en dicha área.

Por otro lado, la petrología se restringe al estudio de cada tipo de roca en particular. Según los que consideran términos separados, estudiar la secuencia de rocas que aparecen nadie ni nada es la litología. Sin embargo, estudiar la composición de minerales que tienen las rocas es la tecnología. Aunque ambos se consideran sinónimos abarcan todos estos aspectos.

Microcuenca hidrográfica. Y según la Directiva Marco del Agua, hace referencia a las partes en que se puede dividir una cuenca hidrográfica, definiéndose las microcuencas como la superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos hacia un determinado punto de un curso de agua, siendo este punto de confluencia aquel en que desemboca el río principal que conforma la microcuenca, y a su través, esa microcuenca.

Según algunas definiciones, como la del D.L.E., se puede crear cierta confusión, al considerarse microcuenca, que no es definida en ese diccionario, como equivalente a cuenca hidrográfica, aun cuando esa misma definición de cuenca considera el territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar.

La microcuenca, y según la primera definición del MITECO, se caracteriza por desembocar en un lago o, generalmente, en un río de orden superior, dando lugar a diferentes modos de clasificación de las redes de drenaje, como el Sistema de Codificación Pfafstetter, método jerárquico de codificación hidrológica de cuencas hidrográficas.

3. METODOLOGIA

La investigación tuvo un enfoque cualitativo, basado en el análisis documental específicamente en información recolectada por medio de base de datos de la Alcaldía de Tona, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, Corporación Autónoma Regional de Santander, y demás fuentes que sirvieron de ayuda para la realización del presente estudio. Se toma en enfoque cualitativo, teniendo en cuenta que por medio de ella se busca analizar una realidad que se desarrolla en la fenomenología social del individuo, entendiendo que se debe contextualizar la temática que desarrolla el problema planteado en la presente investigación, por ello se debe desarrollar de forma principal los conocimientos necesarios para comprender el contexto en que se desarrolla el estudio.

“...el proceso cualitativo no es lineal, sino iterativo o recurrente, las supuestas etapas en realidad son acciones para adentrarnos más en el problema de investigación y la tarea de recolectar y analizar datos es permanente” (Hernández, Fernández & Baptista, 2010 pág. 362).

Los precitados autores Hernández, Fernández, & Baptista, (2014) consideran que el enfoque cualitativo, puede concebirse como un conjunto de prácticas interpretativas que hacen al mundo “visible”, lo transforman y convierten en una serie de representaciones en forma de observaciones, anotaciones, grabaciones y documentos. Es naturalista (porque estudia los fenómenos y seres vivos en sus contextos o ambientes naturales y en su cotidianidad) e interpretativo (pues intenta encontrar sentido a los fenómenos en función de los significados que las personas les otorguen).

4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto en desarrollo es una investigación de tipo inductivo – deductivo, cuyo enfoque documental conforma la metodología utilizada para el estudio de la información.

4.1 FASE I: INVESTIGACIÓN Y ELECCIÓN DEL TEMA.

Se inicia con la investigación y elección del tema a través de las diferentes preguntas y problemas conocidos

4.2 FASE II: RECOPIACIÓN DOCUMENTAL Y BIBLIOGRÁFICA.

Se utilizaron diferentes técnicas para la recolección de información, observando datos generados por la CDMB, material sobre la gestión de riesgos de amenazas naturales, estrategias para la mitigación de amenazas, planificación de desastres, análisis de vulnerabilidad ante amenazas naturales. Esta información una vez seleccionada y clasificada, permitió iniciar el desarrollo de la investigación como tal.

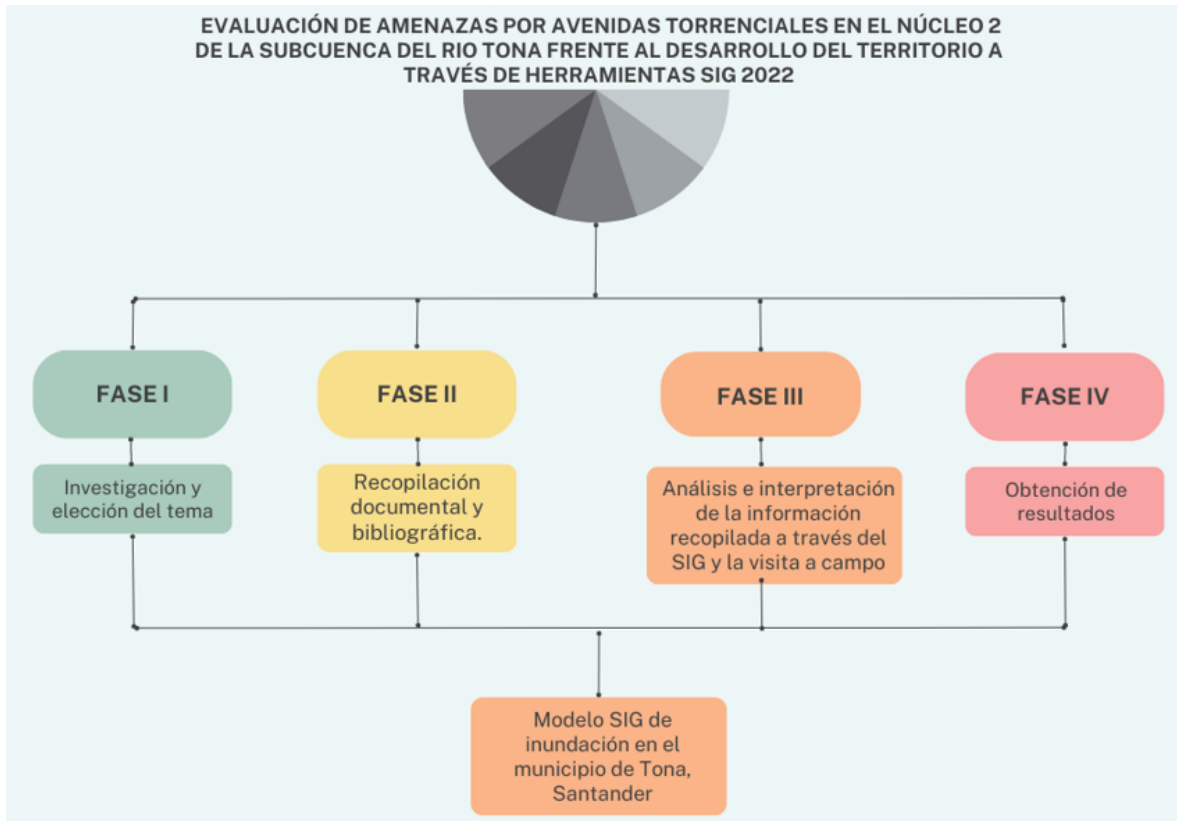
4.3 FASE III: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA A TRAVÉS DEL SIG Y LA VISITA A CAMPO.

En esta fase ya con el objetivo generado y claro se inicia el desarrollo de la investigación como tal, organizando y utilizando la información recopilada para ir argumentando y generando respuestas a cada uno de los objetivos propuestos. Se evidenciaron diferentes rasgos de la problemática en la visita al municipio de Tona.

4.4 FASE IV: OBTENCIÓN DE RESULTADOS.

Ya en este punto de nuestra investigación se muestran los resultados obtenidos al procesar la información recopilada

Ilustración 4. Diagrama metodológico



Fuente: Elaboración Propia.

5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

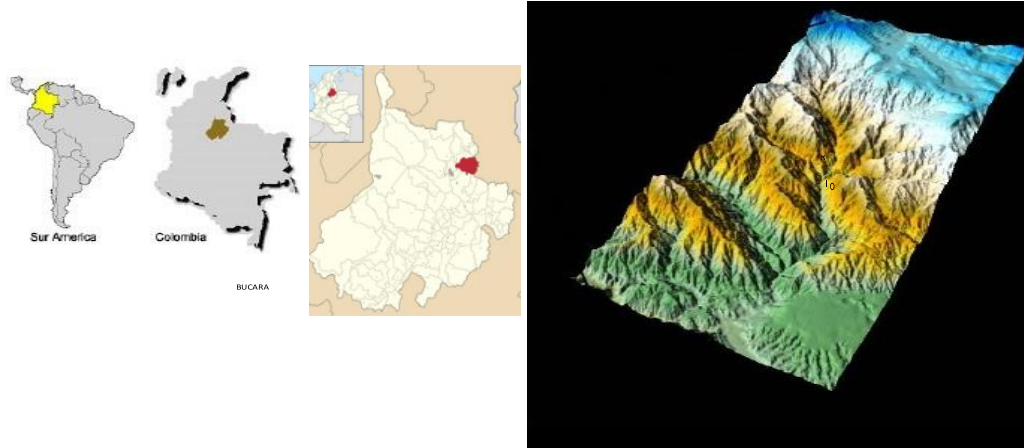
5.1 FASE DE INVESTIGACIÓN

Se investigan las diferentes afectaciones durante la época invernal en el área urbana del municipio de Tona, cerca de la capital del departamento de Santander, con el fin de evaluar las diferentes amenazas por riesgo a través de un modelo de estudio que combina información hidrológica, datos históricos y por último la creación de un modelo SIG donde se evidencie la cota máxima que podrían alcanzar las avenidas torrenciales sobre el cauce del río Tona en el área de estudio.

5.1.1. Localización del área de estudio

El área de estudio comprende la Microcuenca del Río Tona (SRT) (figura 1), ubicada al noreste de la ciudad de Bucaramanga, la cual hace parte de la cuenca Superior del Río Lebrija. Limitada al este por el Altiplano de Berlín, hacia el oeste por la cuenca del Río Charta, hacia el norte por el municipio de Vetas y hacia el sur por la ciudad de Bucaramanga, limitado por el Sistemas de Fallas Bucaramanga- Santa Marta. Cubre una extensión de 150km² y hace parte de las planchas 110- IIIC con coordenadas, 1.120.000 – 1.1135.000 y 1.280.000 – 1.290.000, la plancha 110-IIIA con coordenadas 1.120.000 -1.135.000 y 1.290.000- 1.300.000, la plancha 109-IVD- con coordenadas 1.105.000-1.120.000 y 1.280.000- 1.290.000 a escala 1:25000 cuyas coordenadas tienen origen en Santa Fe de Bogotá.

Ilustración 5. Localización del área de estudio



Fuente: Tomado de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) (2014)

Para llegar a la zona de estudio se puede utilizar dos vías principales: tomando el desvío de la carretera Bucaramanga – Cúcuta en el Km. 18 que conduce al municipio de Tona, o utilizando la carretera que atraviesa toda la parte superior del área de estudio saliendo desde Berlín en el Km. 99 hacia la vereda El Gramal; un ramal carretable en regular estado que comunica a las Veredas Vegas, El Quemado, Arnania en una longitud aproximada de 15 kilómetros; Alterno a estas dos vías, se encuentran caminos de herradura que acortan el tiempo de acceso a la zona, además, comunican con diferentes fincas de la región.

La población del municipio de Tona, incluyendo las veredas, está constituida por 2288 habitantes aproximadamente El 77.98% de la población habita en el sector rural, mientras que el 22.02% restante, se ubica en la cabecera municipal. Su actividad económica base está representada por el procesamiento de productos lácteos, cuyo principal objetivo es la transformación de leche en quesos y comercializarlos directamente. También se encuentra la agricultura como otro

medio de subsistencia. Entre los cultivos más importantes se destacan los de papa, cebolla, maíz, arveja, café y otros productos en menor proporción.

5.1.2. Climatología e hidrología de Tona

La orografía (abrupta y variable), condiciona la temperatura, microclimas y el entorno biótico. Las elevaciones en la cuenca oscilan entre los 920 y los 3550 msnm. al cierre de la cuenca en el Río Surata y en la parte Alta de la Microcuenca del Río Vetas, respectivamente, originando climas variados tales como templado, frío y subpáramo bajo (Gómez y Santana, 1995), observándose un nivel alto de humedad, principalmente en las zonas de mayor altitud.

En las cercanías a la ciudad de Bucaramanga se encuentran latitudes que varían de los 1600 hasta 920 m.s.n.m observándose climas de tipo subtropical a templado. Las variables principales que condicionan el clima en la Microcuenca del Río Tona, (SRT) son la orografía propia de la zona y las masas de humedad que interactúan con el sistema físico de la SRT.

En esta cuenca se puede apreciar las dos zonas topográficas principales con pendientes moderadas en la parte baja (altas a muy fuertes en la parte nororiental de la cuenca al oriente de la falla Bucaramanga - Santa Marta).

En la Microcuenca del río Tona el cambio de elevación es la variable primaria que condiciona el comportamiento espacial de la temperatura y precipitación en la cuenca. Holdridge en 1947 al igual que otros autores han relacionado la precipitación media y la temperatura como las variables que controlan la distribución geográfica de la vegetación y por tanto de la evapotranspiración. Woodward en 1987 concluyó que el clima es el control dominante de la distribución geográfica de la vegetación, sin embargo, los mecanismos del clima que actúan específicamente

como control son objeto de estudio; Eagleson en 1982 desarrollo una teoría en la cual el suelo, el tipo de vegetación y el clima evolucionan en un proceso de sinergia propias de cada uno.

El segundo factor que condiciona el clima en la Microcuenca del Río Tona son masas de humedad que precipitan en la zona. Estas masas son producto de los vientos alisios que descargan la humedad preferencialmente en tres núcleos: el primero localizado en las proximidades de la Galvicia y la Corcova (1800-2000 msnm) en donde se localizan los nacimientos de los Ríos Frío, Lato y Oro. El segundo núcleo de descarga se localiza en la zona montañosa que divide las cuencas de Charta y Tona sobre los 2100 msnm. El tercer núcleo se localiza en mediaciones del sector occidental de la mesa de Berlín sobre los 3200 msnm-m.

La humedad relativa media mensual en la SRT varía entre 84% y 87% en la parte alta, con un valor medio multianual del 85.5% de acuerdo a la información de las estaciones climatológicas ordinarias de Berlín, Vivero Surata (IDEAM) y Charta (CDBM). En la zona baja la humedad fluctúa entre 82% y 85.1%, de acuerdo a las estaciones UIS (IDEAM) y Palonegro (IDEAM) con un valor medio multianual de 83.6%. (IDEAM, 2018)

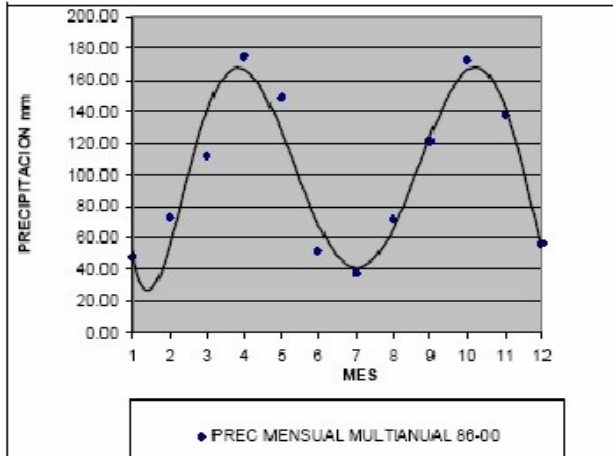
- **Precipitación**

La lluvia es un elemento que afecta los procesos de desgaste de la meteorización y, por lo tanto, los fenómenos de deslizamientos de tierra. Además, también determina la cantidad de vegetación presente.

La precipitación meteórica toma parte en los periodos de invierno en marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre en los cuales se acentúan los procesos erosivos y se presenta la contaminación natural en las quebradas que vierten el río

Tona; los meses de menor precipitación son: diciembre, enero, febrero, junio, julio y agosto que corresponden a verano

Ilustración 6. Variación anual de la precipitación meteórica del Tona



MES	PRECIPITACION. (mm)
ENE	48.02
FEB	72.72
MAR	112.03
ABR	174.94
MAY	148.93
JUN	51.88
JUL	37.52
AGO	71.49
SEP	121.31
OCT	172.50
NOV	137.93
DIC	56.39
TOTAL ANUAL	1205.46

Fuente: Tomado de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) (2014)

Hidrografía

Tabla 2. Principales afluentes del río Tona

MICROCUCENCA	VEREDA	AFLUENTE	AREA (Ha)
TONA ALTA	ALIZAL TEMBLADAL	La chorrera	4547
		Los Arcos	
		Rio sucio	
		Solasquilla	
		Capilla	
		El Palmar	
TONA MEDIO	PALMAR PITONES PIRGUA CHISCAPÁ	Bernabé	3247
		Lúcura	
		Pirgua	
		Guayabal	
		Marcela	
		San Cayetano	
TONA BAJO	BABILONIA CARAGUA MONTECHIQUITO PALMAS	Chorrerón	1726
		Hoyo Frio	
		La Honda	
		Monserate	
		El volante	
GOLONDRINAS	GUARUMALES	Golondrinas	5006
		La Mesa	
		Montecristo	
		Guarumales	
ARNANIA	EL QUEMADO VEGAS ARNANIA	La Plazuela	2905
		Nueva York	
		Cara Blanca	
		Calichana	
		Morrochiquito	
RIO JORDAN	JUAN RODRIGUEZ AGUA CLARA SALADITO UCATA CUESTABOBA	El saño	16200
		Cuestaboba	
		Lúcura	
		Arenales	
		El salado	
Parra			

Fuente: Tomado de POT (Tona – Santander), año 2005

La principal corriente de agua del área de estudio corresponde al Río Tona, y nace en la unión de las quebradas los Arcos y Río Sucio a una altitud de 2000 metros que corre en dirección NE – SW cambiando su curso hacia el límite de la ciudad de Bucaramanga en sentido E-W al unirse al Río Surata. Un factor importante en el aporte hídrico es la morfología de la cuenca en su parte oriental en Tona Medio, ya que presenta pendientes fuertes que favorecen la escorrentía en una zona caracterizada por una alta precipitación.

- **Vegetación en la microcuenca del río Tona**

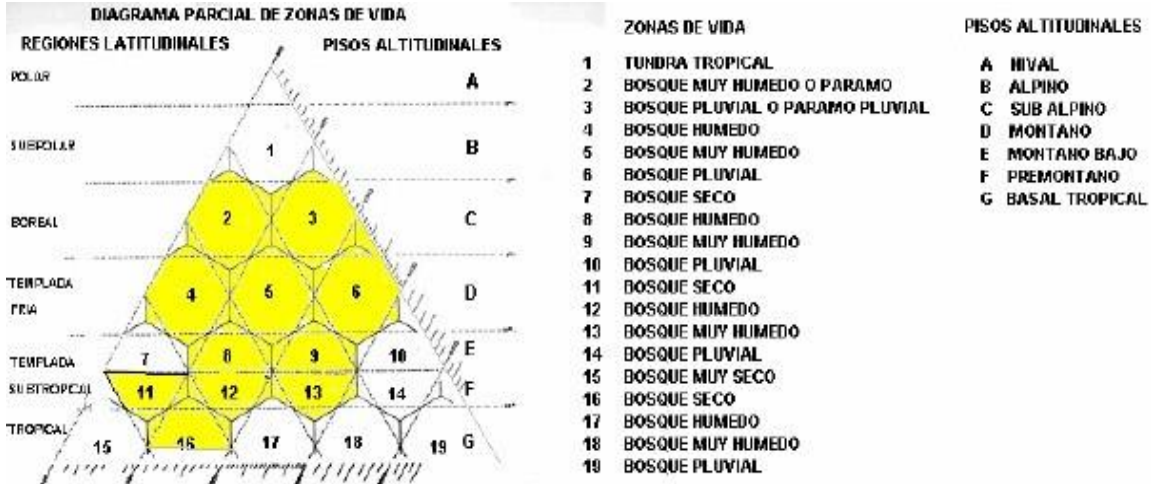
El desarrollo de la vegetación en la microcuenca está fuertemente condicionado por el clima. A partir de un estudio en el año 1981 la CDMB publicó el estudio Desarrollo Integral de la Cuenca Superior del Río Lebrija, (Ramírez, 1981) en donde se describe las zonas de vida de la cuenca de acuerdo al diagrama de Holdridge. De acuerdo a consulta realizada en dicha microcuenca se encuentran los siguientes pisos térmicos:

Piso montano bajo: Corresponde a la parte media de la cordillera oriental, incluyendo los municipios de Charta, Tona y California. El bosque muy húmedo montano bajo en zonas localizadas en el extremo norte de la cuenca y alrededor de la Corcova y la Mariana. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Piso montano: Se localiza en el oriente de la cuenca, en las partes altas del municipio de Vetas y el extremo oriental de la cuenca entre el páramo de la Corcova y así como en el extremo norte de la cuenca y el área cerca al Picacho. Piso subalpino: Se localiza al oriente de la cuenca en la mesa de Berlín.

Las anteriores zonas climáticas homogéneas se ven representadas en el diagrama de zonas de vida de Holdridge. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Ilustración 7. Zonas de vida según Holdridge. Clasificación de formaciones



Fuente: Tomado de Ramírez (1999)

Los pisos térmicos y la precipitación media multianual en la cuenca del Río Lebrija permiten hacer una clasificación de zonas de vida, para la cuenca microcuenca del Río Tona

Páramo Subalpino y Páramo Pluvial Subalpino: corresponde a la zona de páramo. Temperaturas entre 3 y 6°C, promedio anual de lluvias entre 500 y 1000 mm para el subalpino y entre 1000 y 2000 mm para el pluvial subalpino. Elevaciones entre 3650 y 4110 msnm aproximadamente y evapotranspiración real menores a 820 mm/año. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Bosque Pluvial Montano: temperaturas entre 6 y 12°C, pluviosidad anual promedio superior a 2000 mm; elevaciones entre 3650 y 2720 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 820 mm/año y 990 mm/año. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Bosque muy Húmedo Montano: temperaturas entre 6 y 12°C, pluviosidad anual promedio entre 1000 y 2000 mm. Elevaciones entre 3650 y 2720 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 820 mm/año y 990 mm/año. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Bosque Húmedo Montano: temperaturas entre 6 y 12°C, promedio anual de lluvias entre 500 y 1000 mm. Elevaciones entre 3650 y 2720 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 820 mm/año y 990 mm/año. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Bosque muy Húmedo Montano Bajo: temperaturas entre 12 y 17°C, pluviosidad anual promedio superior a 2000 mm Elevaciones entre 1950 y 2720 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 1150 mm/año y 990 mm/año. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Bosque Húmedo Montano Bajo: temperaturas entre 12 y 17°C, pluviosidad anual promedio entre 1000 y 2000 mm. Elevaciones entre 1950 y 2720 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 1150 mm/año y 990 mm/año. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Bosque Húmedo Premontano: temperaturas entre 17 y 24°C, pluviosidad anual promedio entre 1000 y 2000 mm. No se presentan deficiencias de agua. Elevaciones entre 1950 y 880 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 1150 mm/año y 1430 mm/año. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Bosque muy Húmedo Premontano: temperaturas entre 17 y 24°C, pluviosidad anual promedio superior a 2000 mm. La lluvia excede la evapotranspiración. Elevaciones entre 1950 y 880 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 1150 mm/año y 1430 mm/año. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Bosque Seco Premontano: temperaturas entre 17 y 24°C, pluviosidad anual promedio entre 500 y 1000 mm. En verano pueden presentarse deficiencia de agua para los cultivos. Elevaciones entre 1950 y 880 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 1150 mm/año y 1430 mm/año. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Bosque Seco Tropical: temperaturas superiores a 24°C, pluviosidad anual promedio entre 1000 y 2000 mm. La evapotranspiración es menor que el agua de lluvia. Elevaciones menores a 880 msnm aproximadamente y evapotranspiración real mayores a 1430 mm/año. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Suelos. En el estudio Plan de manejo Ambiental se clasifican los suelos en forma general y su distribución según:

Zona Andina, Alto Andina y Páramos: Los suelos ubicados en la parte nororiental, corresponden al macizo ígneo-metamórfico, sobre el cual se encuentran los suelos de los páramos, de clima frío y medio. Hacia el municipio de Vetas y el corregimiento de Berlín, predominan suelos en relieve ondulado, profundos y con buen contenido de materia orgánica. En el municipio de California, y partes altas de Suratá, Charta, Tona, Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta, predominan suelos en relieve quebrado, superficiales a profundos y de mediana fertilidad; hacia las partes bajas los suelos son de relieve ondulado. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

La Selva Sub-andina. La selva Sub andina en el municipio se extiende desde las cotas de 700 y hasta la 2000 m.s.n.m; dentro de esta área las características fisiognómicas de este tipo de vegetación se manifiestan en las raíces tabulares, presentes en una proporción baja. El municipio primordialmente representa la parte

baja del valle del Río Tona caracterizada por sus altas pendientes y terrenos utilizados en la agricultura. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

La Selva Andina. Ubicada en Tona dentro de los 2.200 y 2.800 m.s.n.m; las características fisiognómicas de este tipo de vegetación se manifiestan en la disminución en los tamaños de las hojas y un estrato abundante con una gran abundancia de plantas entre Helechos, Musgos, Hepáticas, Orquídeas. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Páramo. En el área principalmente dominan las unidades de vegetación abierta como los Frailejones, Pajonales y Matorrales, en las áreas cercanas a los asentamientos humanos constituidas por un estrato rasante donde las formas de crecimiento como las gramíneas en Macollas, Hierbas en roseta decoradas por el amarillo en su floración. Los frailejones se encuentran limitados a las partes más distanciadas o áreas de descanso que han vuelto a ocupar por su amplia posibilidad de dispersión, el área en donde mejor permanecen estas unidades es el Páramo de Santurbán. (Servicio Geológico Colombiano, 2010)

Los rasgos estructurales más sobresalientes son: la falla de Bucaramanga Santamarta, la falla La Cristalina, la falla de Río Sucio, falla Solasquilla, las fallas presentes en la zona de la vereda El Alisal y pliegues sinclinales.

5.2. AMENAZAS POR AVENIDAS TORRENCIALES EN LA MICROCUENCA DEL RIO TONA, TENIENDO EN CUENTA LA INFORMACIÓN HISTÓRICA DE LOS EVENTOS QUE HAN SUFRIDO EN LA ZONA EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS.

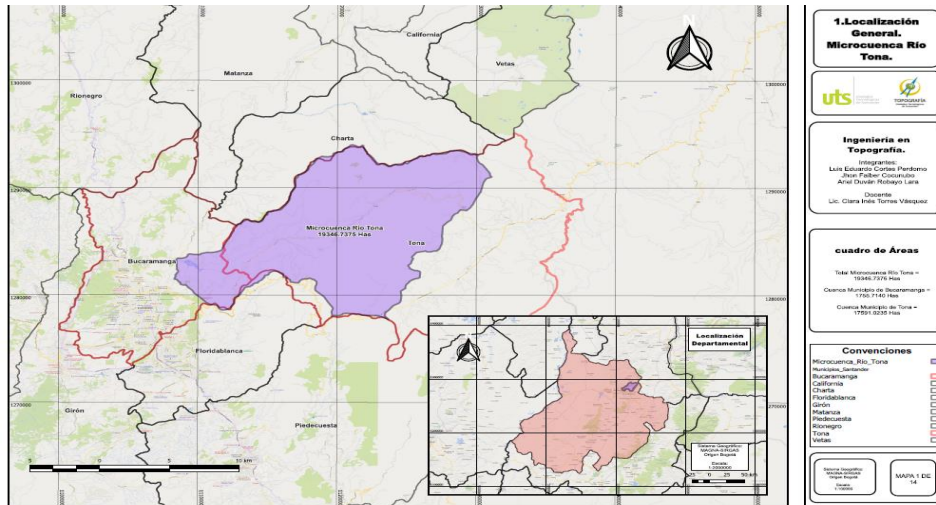
5.2.1. Pendientes del río Tona

Fisiográficamente la Microcuenca del río Tona corresponde a zonas de alta montaña con elevaciones entre los 800 y 4000 m.s.n.m. aproximadamente. Los elementos geomorfológicos junto con la vegetación propia de los mismos, condicionan parámetros como el almacenamiento, conductividades hidráulicas y movimiento superficial y subsuperficial del recurso hídrico en las cuencas. (IDEAM, 2009)

El modelado del relieve está íntimamente ligado a procesos tanto exógenos como el clima, como endógenos relacionados a las fuerzas internas que afectan la corteza, es decir, es el resultado de una compleja interacción de factores litológicos, tectónicos y climáticos, enmarcado en una indispensable variable adicional como lo es el tiempo. (IDEAM, 2009)

La microcuenca del río Tona es muy variada en su extensión en su geomorfología debido a la heterogeneidad en los tipos de roca que aquí se encuentran. Para la identificación de formas del relieve terrestre se tendrán en cuenta diferentes niveles de observación discriminando regiones fisiográficas, paisajes, tipo de relieve y formas del terreno. (IDEAM, 2009)

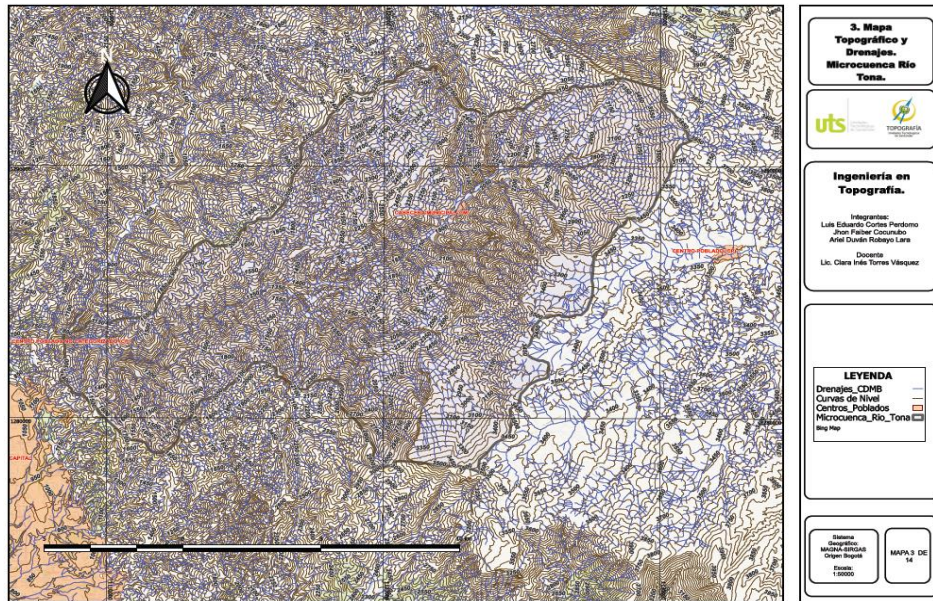
Ilustración 9. Localización geográfica de la cuenca del río Tona



Fuente: Tomado de Cortés, Coconubo y Robayo (2022)

La cuenca del Tona tiene una topografía montañosa de fuertes pendientes provocando que los flujos de agua corran con alta capacidad erosiva y de arrastre. Geográficamente, la cuenca se localiza entre las coordenadas 1°108,703.70E – 1°283,182.80N y 1°131,012.23E – 1°291,092.40N, correspondiendo con las áreas más baja y alta de la cuenca, respectivamente, ya que el sistema hídrico drena con orientación sur-oeste (ver figura 1). La producción hídrica de esta cuenca es de gran importancia ya que provee aproximadamente un 50% del recurso hídrico requerido por los habitantes del área metropolitana de Bucaramanga, además de soportar la población rural de la misma. (GAC Peña, 2018)

Ilustración 10. Topografía y Drenaje microcuenca del río Tona



Fuente: Tomado de Cortés, Coconubo y Robayo (2022)

La microcuenca del Río Tona corresponde a pendientes heterogéneas donde predominan las de tipo inclinadas, sobre el Ortoqueis se encuentran sectorizadas las pendientes abruptas y en menor proporción pendientes escarpadas.

Este mapa de pendientes muestra como rasgo característico el bordeado de pendientes fuertes sobre el Río Tona, característico de Rocas Cristalinas, en la zona Norte del límite de cuenda el rango de pendientes marca un gran contraste por presentar un plano estructural y su inclinación llega aproximadamente 30° representado el rango de pendiente inclinadas, correspondiente al Silgara y la Formación Tambor.

Las pendientes entre rangos moderadamente empinados son prominentes en tres áreas. Uno de ellos está ubicado en la zona nororiental sobre el ortogneis de Berlín, correspondiente a montañas con bordes afilados. El segundo se encuentra en la quebrada Golondrinas, compuesto por Cuarzo monzonita de la Corcova y el Neis de Bucaramanga. El tercero se encuentra cerca de la ciudad de Bucaramanga, sobre el Neis de Bucaramanga.

Las pendientes de la secuencia sedimentaria varían desde inclinadas hasta planos característicos debido a la presencia de planos estructurales en la formación Rosablanca. En el área de la cuchilla la Quincha, se encuentran pendientes inclinadas a moderadamente abruptas que se desarrollan en la Formación Silgará. La microcuenca del río Tona exhibe una amplia diversidad litológica y geomorfológica, principalmente debido a su complejo control estructural. (EJ Díaz, 2009)

Las formaciones sedimentarias, por ejemplo, se distribuyen en forma de bloques estructurales, lo que en muchos sectores impide reconocer una secuencia completa y mostrando espesores mucho menores que los descritos en las secciones tipo. Las características hidrogeológicas de las unidades aflorantes permiten reconocer unidades principales como los depósitos cuaternarios ya que sus propiedades hidráulicas favorecen el almacenamiento y circulación del agua, mientras que las unidades sedimentarias y cristalinas, por su alto grado de compactación disminuyen la permeabilidad y almacenamiento, donde las condiciones estructurales les han impuesto porosidad secundaria; de ahí la necesidad de describir esta zona con base en estos criterios para desarrollar una cartografía con fines hidrogeológicos. (EJ Díaz, 2009)

Ilustración 11. Panorámica de Terraza de acumulación subreciente



Fuente: Tomado de Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000. plancha 110 – Pamplona, Departamentos de Santander y Norte de Santander (2014)

La litología de la microcuenca del río tona se caracteriza por presentar rocas de tipo ígneo, metamórfico y sedimentario que van desde el Precámbrico hasta el Terciario, estas unidades de roca se encuentran cubiertas parcialmente por depósitos cuaternarios de origen diverso. Se pueden observar rocas intrusivas como las cuarzomonzonita de la Corcova y Santa Bárbara, rocas metamórficas como el complejo de Bucaramanga, Silgará y Ortogneis de Berlín, formaciones sedimentarias jurásicas como la formación Girón y las formaciones cretácicas Los Santos, Rosablanca, Paja y Tablazo. (GB Camacho, 2003)

El paisaje de montaña, como ocurre en este caso, constituye un nivel muy amplio de observación y dentro de este, se pueden encontrar paisajes formados por procesos denudacionales donde se incluyen procesos continuados por largo tiempo como procesos de erosión y remoción en masa, paisajes controlados estructuralmente relacionados con diferentes clases de estructuras geológicas las

cuales ejercen una influencia dominante, paisajes kársticos, fluviales influenciados por la acción del agua a nivel subterráneo y superficial respectivamente, paisajes glaciares modelado por el movimiento del hielo y su cobertura parcial por depósitos glaciares. (GB Camacho, 2003)

El relieve terrestre es, como se ha dicho antes, el resultado de la interacción de diversos factores, de tal forma que la litología y la tectónica determinan las llamadas formas estructurales y estas a su vez constituyen en el marco físico en el cual actúan los procesos morfoclimáticos. (GB Camacho, 2003)

La influencia del clima está relacionada con los diferentes procesos que contribuyen al modelado del paisaje, tales como meteorización, pedogénesis y diferentes etapas del proceso morfogenético, como erosión, transporte y acumulación. (GB Camacho, 2003)

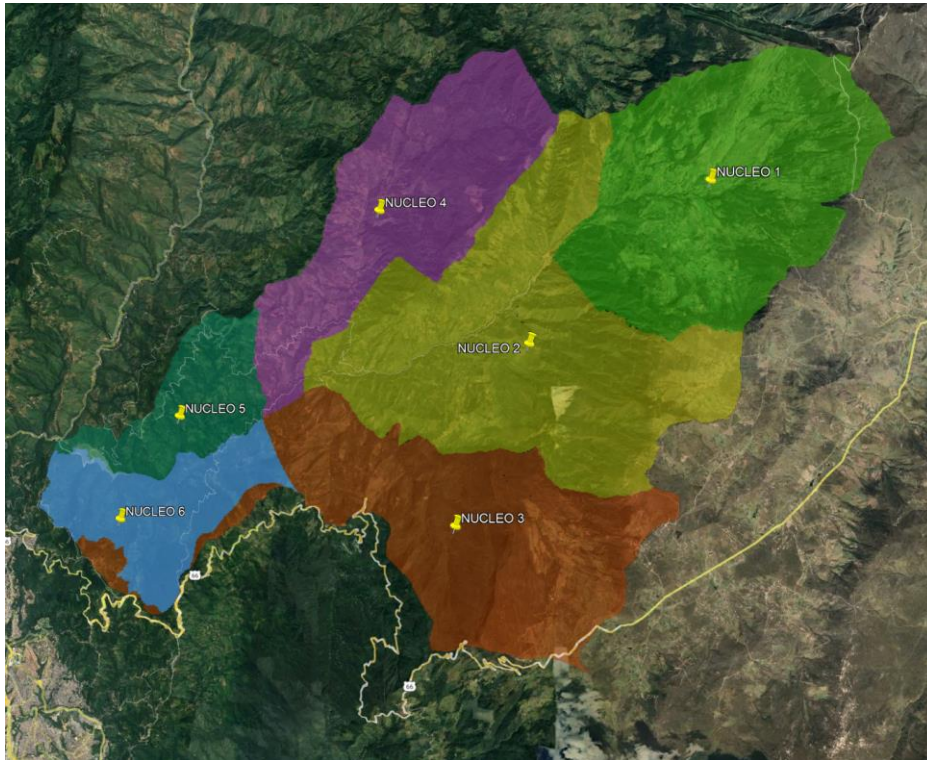
Interviene una tercera categoría de fenómenos, llamados procesos azonales, es decir agentes responsables de las formas que modelan las vertientes, cauces de los ríos, etc., tales como el escurrimiento superficial, solifluxión, reptación, que varían en función del clima y la litología. Toda forma de relieve es entonces el resultado de la intervención de los factores mencionados, sin que predomine alguno de ellos. La expresión del relieve también está influenciada por otros parámetros que no pueden dejar de tenerse en cuenta como son la escala geográfica y las herencias, en particular las del orden climático (paleoclimas). (Arlegui Lizama, 2016)

A escala geográfica, en el caso del Macizo de Santander con grandes unidades, dominan los factores tectónicos. A nivel de las pequeñas dimensiones y para un mismo contexto climáticos, dominan las influencias litológicas. (Arlegui Lizama, 2016)

La topografía está controlada estructuralmente por la dirección general de la Cordillera Oriental (NNE-SSW) y localmente esta desplazada por fallas de rumbo. Las direcciones de los cerros son dos, una dirección principal NE-SW, que se observa claramente en el sector de mayores alturas al este del área, estas direcciones también se observan hacia la parte del extremo oriental en la cuchilla la Quincha y en la zona central del área en las estribaciones de los cerros. Hacia la zona occidental se observan cuchillas, esta dirección es paralela a la falla de Bucaramanga. La otra dirección de los cerros es N-S, paralela a la dirección de la falla la Rosita casi perpendicular a la falla Bucaramanga-Santa Marta.

La observación más detallada de este modelo muestra un avanzado estado de deformación estructural (ilustración 12), con cambios bruscos en la dirección de los cerros, intersección de direcciones y un visible control en el drenaje, con diferentes direcciones preferenciales.

Ilustración 12. División de la microcuenca del Río Tona



Fuente: Elaboración propia, basado en el núcleo 2, que corresponde a la zona de estudio o zona media de la microcuenca del río Tona

Fase de recopilación

En esta fase se recopila la información a través de la visita de campo en donde se utilizan herramientas topográficas para la obtención de modelos digitales de terreno (MDT), con el fin de tener la distribución espacial de variables cuantitativas; con el uso de equipos GNSS y RPAS para la obtención de ortofotos.

5.2.2. Amenazas por avenidas torrenciales

Eventos locales de lluvias intensas, así como alteraciones ambientales relacionadas con la deforestación y/o urbanización, a menudo puede desencadenar la incidencia

de peligros hidrológicos, como inundaciones y deslizamientos de tierra, especialmente en las áreas tropicales. En Colombia, los peligros hidrológicos ocurren principalmente como resultado de fuertes precipitaciones locales durante la fase fría de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), conocida como La Niña. Las cuencas hidrológicas ubicadas en el Departamento de Santander, especialmente en Tona, son propensas a amenazas debido al terreno geográfico complejo combinado con la variabilidad climática espacial y temporal. Estos eventos tienen un fuerte impacto en una gran parte de la economía local, ya que la agricultura representa una parte importante de la generación de ingresos.

Entre 2012 y 2022, las avenidas torrenciales e inundaciones afectaron a unos 16 millones de colombianos y cobraron la vida de más de 3000 personas, según la Base de Datos de Eventos de Emergencia (EM-DAT). En la mayoría de los casos, esto está relacionado con “La Niña” que puede conducir a peligros hidrológicos relacionados con el agua con consecuencias catastróficas para el sustento de las personas y los recursos hídricos. (IDEAM, 2017)

El estudio de amenazas hidrometeorológicas, como inundaciones, inundaciones repentinas y deslizamientos de tierra, requiere un enfoque multidisciplinario para comprender el impacto de la variabilidad climática y el cambio climático en las vías de agua, el almacenamiento de agua y los peligros relacionados. Las inundaciones son las amenazas hidrológicas más frecuentes en las cuencas del Microcuenca del río Tona ubicada al noreste de la ciudad de Bucaramanga, la cual hace parte de la cuenca Superior del Río Lebrija. El aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos se ha convertido en el principal problema socioambiental para los habitantes de Tona y otros municipios vecinos. (IDEAM, 2017)

Este estudio se enfoca en la microcuenca del río Tona localizada en la parte nor oriental de la microcuenca del río Lebrija, el río Tona nace entre los páramos de Pescadero y Santurbán (cercañas del Cerro del Albedrío) con elevaciones máximas de 3850 m y con un área aferente de 208 km²; en la parte alta del río se ubica el casco urbano del municipio de Tona. Las fuertes pendientes de la cuenca hacen que los cursos de las aguas formen avenidas torrenciales que corren por gargantas y tienen alto poder erosivo y de arrastre. La dirección general de su curso es Sur-Oeste hasta confluir en el Río Surata. (IDEAM, 2017)

Esta región en los últimos 10 años ha sido susceptible a eventos extremos de precipitación que causan las avenidas torrenciales, afectando los sectores productivos agropecuarios, obstaculizando el desarrollo económico y regional. En las tierras altas, la cobertura natural de la tierra ha sido reemplazada por agricultura intensiva, a saber: cebolla junta, apio, papa, zanahoria. La producción de cebolla se da en la zona del Páramo de Berlín en una proporción de 20 toneladas diarias, la cual es enviada a Bucaramanga, Cúcuta, Pamplona y exportada en una pequeña parte a Venezuela. En la zona baja predominan cultivos como: Apio, zanahoria, fríjol, avena, café, pepino, pimentón, tomate, aromáticas. Dichos fenómenos naturales se han dado como consecuencia a la combinación de factores climáticos, topográficos y socioeconómicos que crean un escenario altamente vulnerable para eventos catastróficos. (IDEAM, 2017)

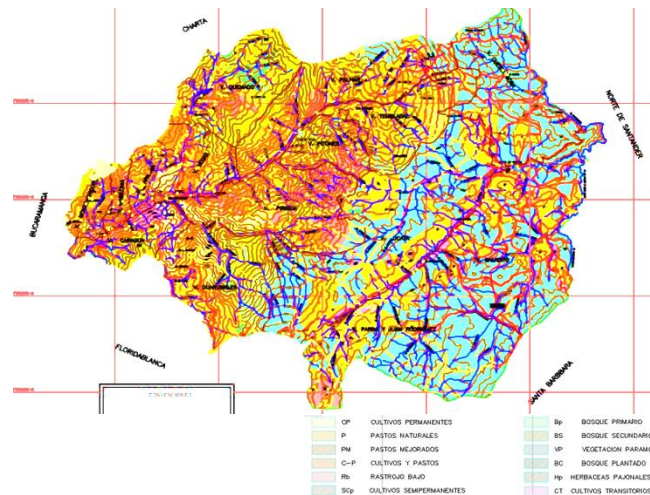
Esta cuenca es motivo de preocupación en el Departamento de Santander, debido a su importante papel económico y ecológico como recurso natural de agua para Embalse de Bucaramanga, abastecimiento de agua para uso doméstico, sistemas industriales y de riego. (IDEAM, 2017)

Los eventos de avenidas torrenciales en la microcuenca del río Tona ocurren debido a lluvias extremas, drásticas reducciones en áreas con bosque natural, y el aumento

del nivel de la población. Por ejemplo, en mayo del 2022 las fuertes lluvias en esta región del país ocasionaron la súbita y desbordamiento del río Tona, lo cual generó a su vez una fuerte avenida torrencial que colapsó varios puentes e inundó más de 500 hectáreas de cultivos y arrasó algunas viviendas ubicadas en las veredas Chiscapá, El Gramal y Lizama (Revista Semana.com, 2022).

Así mismo el crecimiento de la población en las zonas pobladas aledañas a la microcuenca del río Tona genera preocupaciones sobre los cambios en el uso de la tierra debido al aumento de las actividades agrícolas y ganaderas, la migración rural/urbana y la expansión de los bordes rurales, implica que los factores antropogénicos, geográficos locales y las características de riesgo climático pueden conducir a la aparición de inundaciones catastróficas.

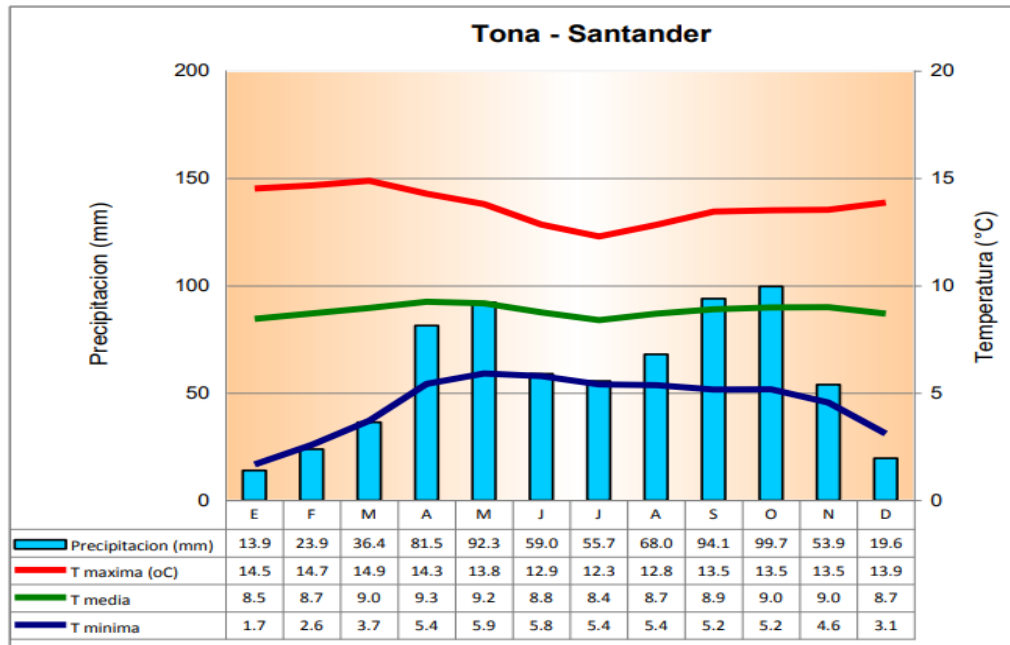
Ilustración 13. Uso de tierras en la microcuenca del río



Fuente: Tomado de Cortés, Cucunubo y Robayo (2022)

En cuanto al clima se encuentra tres: de los 1000 a los 2000 msnm templado húmedo; de los 2000 a los 3000 frío húmedo y de los 3000 a los 3700 paramo húmedo.

Ilustración 14. Temperatura y precipitaciones mensuales en la microcuenca del río Tona



Fuente: Tomado del ATLAS.IDEAM.CO (2022)

Fase de análisis e interpretación de la información

Se revisa la información recopilada, en este punto se estudian los datos topográficos del terreno tomados en campo, junto con los sondeos de las estaciones hidrometeorológicas, estos se analizan para crear un modelo SIG a través de ARCGIS y así poder comparar datos actuales con estimados a 100 años proyectando una evaluación final y a su vez fortalecer el sistema de gestión del riesgo de la zona de estudio.

Se realizaron análisis e interpretaciones de directrices utilizando criterios y parámetros convencionales de sensores remotos para analizar la estructura, como el control estructural de la red hidrográfica (drenajes rectos, angularidad de la red fluvial, deflexión de drenajes principales y secundarios, etc.), cambios de pendiente, alineación de colinas, facetas triangulares, fallas en forma de silla, ganchos de falla, trincheras de falla, valles lineales y lomos de presión.

Cota máxima que podría alcanzar la inundación y el área total que se vería afectada conforme a los caudales presentados en la Microcuenca del río Tona

Cerca de la vía Bucaramanga – Tona, sobre el río Tona se localizaron tres (3) estaciones principales de aforo. La estación Tona (aguas arriba) se localizó metros antes de llegar la estación pluviométrica del IDEAM, antes de la entrada al Municipio de Tona. La estación Puente Carrizal se ubicó aguas arriba de la bocatoma del AMB y la estación Puente Golondrinas (aguas abajo), metros arriba de la confluencia de la quebrada Golondrinas al río Tona.

Los siguientes datos geométricos de la cuenca fueron tomados a partir del modelo de elevación digital exportado a archivo CAD.

- Cota punto más alto: 3850 msnm.
- Cota punto más bajo: 800msnm.

- Área de la cuenca: corresponde a la proyección en plano horizontal de la superficie delimitada por la divisoria de aguas o puntos más altos, con un valor de 192´496,560.39m² (192.50Km²).
- Perímetro de la cuenca: medida tomada por la longitud de la superficie horizontal de la línea divisoria de aguas 75,424.12m – 75.42Km.
- Longitud del cauce principal: Longitud tomada de la superficie horizontal desde la salida hasta la parte superior de la cuenca con una longitud de 27,032.82m – 27.03Km.
- Pendiente promedio: corresponde al cociente entre diferencia entre el punto más alto de la cuenca y el más bajo correspondiente a la salida y la longitud del cauce principal.

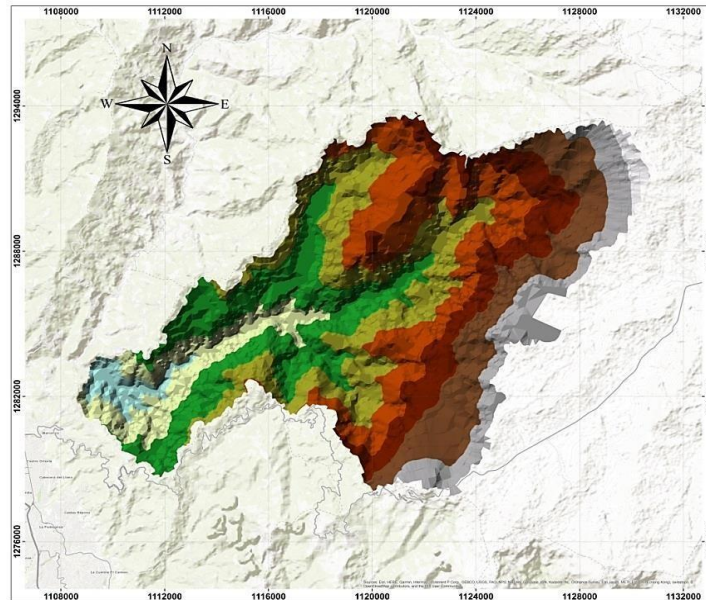
$$S = \frac{3850m - 800m}{27032.82m} \cdot 100\% = 11.28\%$$

- Longitud axial: longitud en el plano superficial de la cuenca medida desde el punto más bajo de la cuenca que corresponde a la salida hasta el punto más alto 23.375,18m – 23,38Km.
- Ancho promedio: se calcula a partir del cociente entre el área de la cuenca y la longitud axial.

$$A_p = \frac{A}{L_a} = \frac{192.50\text{Km}^2}{23.38\text{Km}} = 8.23\text{Km}$$

- Forma de la cuenca: La forma de la cuenca influye sobre los escurrimientos, es así como en una cuenca de forma oblonga y tipo embudo como la del Río Tona, los escurrimientos recorren los cauces secundarios hasta llegar a uno principal por lo que la duración del escurrimiento es superior. (GAC PEÑA, 2018)

Ilustración 15. Modelo topográfico de la cuenca del río



Fuente: Tomado de Carrillo (2018)

Sobre la carretera, entre las estaciones Tona y Carrizal, se localizaron 11 puntos de entradas de agua al río, enumeradas en orden descendente de aguas arriba a aguas abajo del río, la localización geográfica.

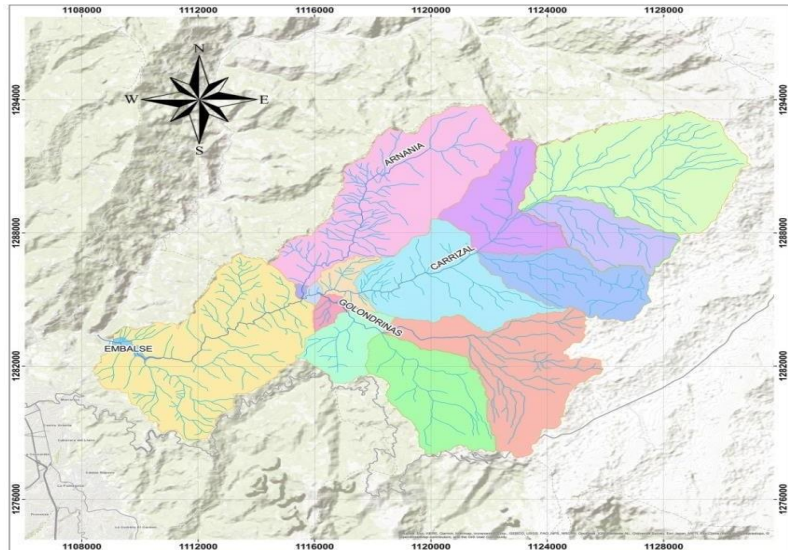
Tabla 3. Estaciones en la subcuenca del río Tona

RIO TONA								
ESTACION	UBICACIÓN	COORDENADAS				ELEVACION (msnm)		
		LATITUD	LONGITUD	NORTE	ESTE			
Estación Tona	Aguas Arriba	7 11 47.38	72 58 41.84	1287391.96	1121795.63	1748.25		
Entrada 11		7 11 31.64	72 58 30.78	1286909.06	1122136.15	1729.01		
Entrada 10		7 11 27.82	72 58 32.00	1286791.59	1122099.00	1720.20		
Entrada 9		7 11 14.06	72 58 49.22	1286367.53	1121571.57	1670.62		
Entrada 8		7 11 03.53	72 59 00	1286043.20	1121241.54	1639.75		
Entrada 7		7 10 55.50	72 59 28.56	1285794.38	1120365.69	1554.16		
Entrada 6		7 10 00	72 59 36.84	1284088.50	1120115.00	1536.00		
Entrada 5		7 10 49.27	72 59 45.26	1285601.74	1119853.66	1506.42		
Entrada 4		7 10 43.37	72 59 49.15	1285420.18	1119734.71	1499.03		
Entrada 3		7 10 35.37	73 00 02.75	1285173.39	1119317.93	1461.97		
Entrada 2		7 10 35.37	73 00 02.75	1285173.39	1119317.93	1460.79		
Entrada 1		7 10 30.12	73 00 13.72	1285011.29	1118981.67	1434.96		
Estación Carrizal	Aguas Abajo	7 10 41.92	73 01 21.01	1285369.00	1116916.00	1381.83		
Estación Golondrinas	Aguas Abajo	7 10 37.65	73 01 42.52	1285236.42	1116256.19	1288.89		

Fuente: IDEAM

El Mapa 3 muestra la red de drenaje de la cuenca y la localización del embalse de Bucaramanga. Las áreas de colores son las subcuencas delimitadas por el software ArcSWAT a partir de un análisis de redes de drenaje

Ilustración 16. Red de drenaje cuenca del río Tona



Fuente: Tomado de Carrillo (2018)

La cuenca del río Tona cuenta con tres drenajes importantes (Arnania, Carrizal y Golondrinas) que alimentan la parte baja de la misma y sobre los cuales el acueducto metropolitano de Bucaramanga (amb) realiza captación por gravedad (1400 lps o 1.40 m³/s) para su sistema de abastecimiento. Adicionalmente, en el año 2015, el amb finalizó la construcción del embalse de Bucaramanga (capacidad de 18 millones de m³), localizado en la parte baja de la cuenca, buscando regular un caudal adicional de 1100 lps (1.1 m³/s). Aunque el llenado del embalse finalizó en el año 2016, aún no se ha construido la tubería de aducción que conectaría el embalse con dos plantas de tratamiento (Bosconia y Angelinos – en construcción). Se espera que esta infraestructura entre en funcionamiento a finales del año 2019. (CDMB, 2018)

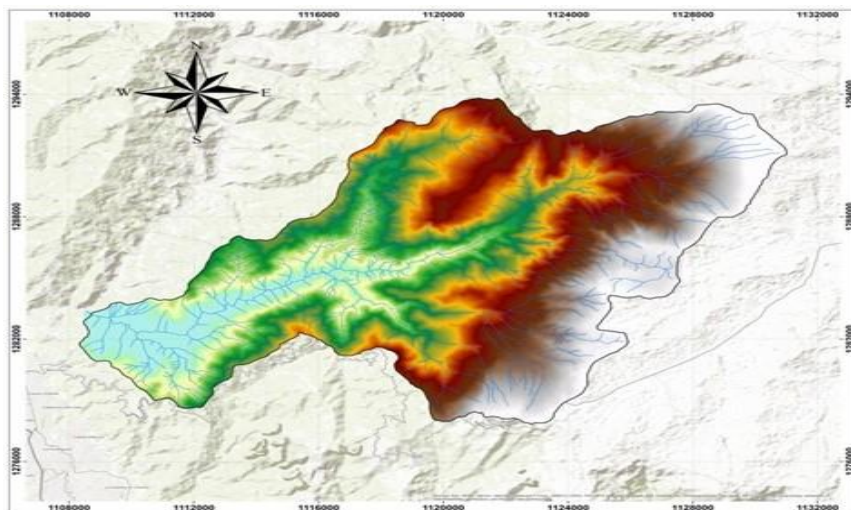
La elaboración del ráster-DEM de la cuenca del Tona se llevó a cabo a partir de la cartografía proporcionada por la CDMB en formato CAD (escala 1:25000). Las

herramientas de conversión que ofrece ArcGIS permitieron obtener el DEM a partir de un mapa de curvas de nivel. La definición de la resolución del DEM (y por consiguiente de todos los demás ráster) se basó en el método del reconocido cartógrafo analítico Waldo Tobler (1987) que explica que la resolución del DEM se determina por medio de una expresión matemática basada en la escala de la cartografía.

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Escala}}{2 * 1000} \rightarrow \frac{25000}{2 * 1000} = 12.5\text{m}$$

Aplicando la anterior fórmula se determinó la resolución del DEM de 12.50m x 12.50m con un área de pixel de 156.25m². la figura 19 muestra el mapa del modelo digital de elevación desarrollado para entrada al modelo.

Ilustración 17. Modelo digital de elevación (DEM) de la cuenca del río Tona

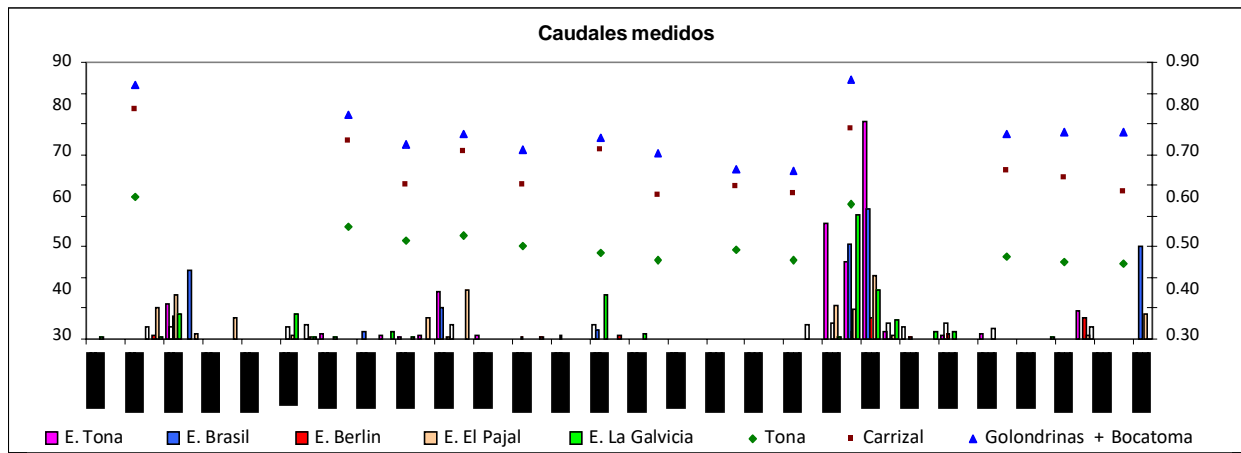


Fuente: Tomado de Carrillo (2018)

Entre las estaciones Carrizal y Golondrinas, a una altura de 1378 msnm, se localiza la Bocatoma del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga - AMB. La captación en la Bocatoma El Carrizal no se realiza de forma constante, esta varía dependiendo de la extracción en las bocatomas existentes sobre las quebradas Golondrina y

Armania (afluentes del Río Tona, aguas abajo de los sitios de medición) para enviar un caudal total entre las tres captaciones de 1400 lt/seg requerido por el AMB para su buen funcionamiento. (CDBM, 2018)

Ilustración 18. Caudales medidos en las estaciones sobre el río Tona

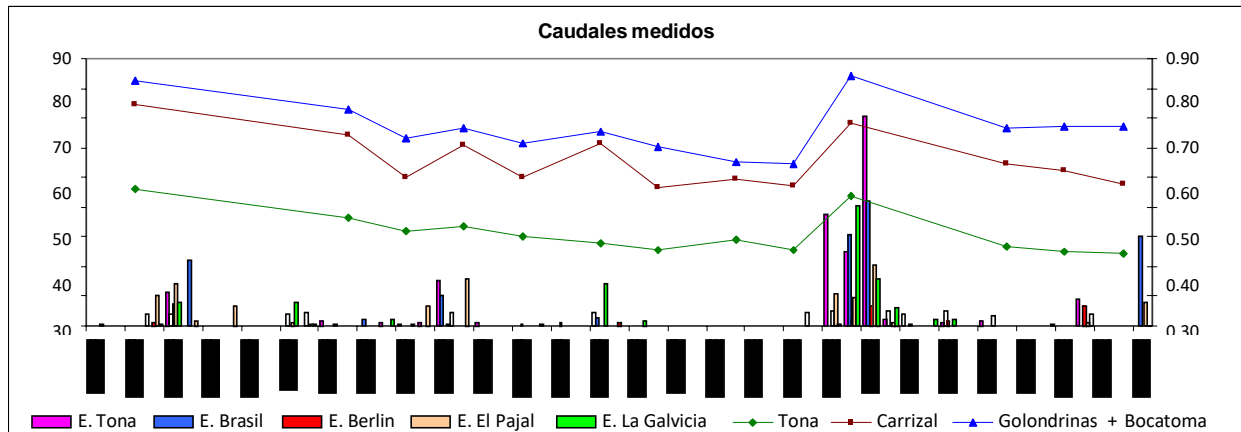


Fuente: Datos obtenidos en las Estaciones Tona, Carrizal y Golondrinas

Para entender el comportamiento de los caudales del río Tona en épocas de recesión, se graficaron los datos obtenidos en las Estaciones Tona, Carrizal y Golondrinas y los registros de precipitación de las estaciones pluviométricas: Tona, Berlín, La Galvicia, El Brasil y El Pajal, las cuales están muy cerca de los puntos de aforo seleccionados.

Conforme a la información suministrada por las estaciones arriba mencionadas, se presenta en la figura 22 se observa una tendencia decreciente en los caudales durante el mes de diciembre de 2021 y primeros días de enero del mes de 2022 en los tres puntos de mediciones. El evento de lluvia ocurrido en la cuenca del Río Tona a comienzos del mes de enero del 2022 produjo ascensos de los caudales y cambio la curva de recesión que, sin embargo, volvió a tomar lugar hasta el día de terminación de los aforos.

Ilustración 19. Datos de caudales medidos en las estaciones sobre el río Tona

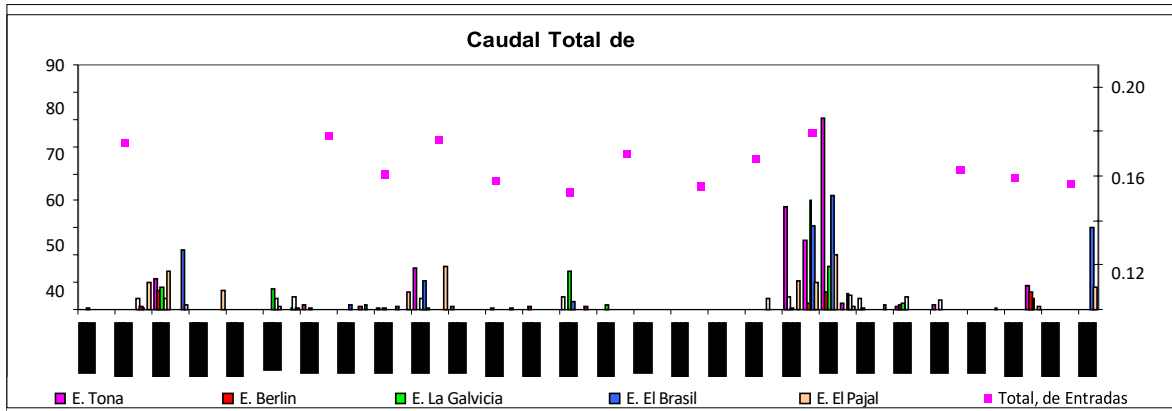


Fuente: Datos obtenidos en las Estaciones Tona, Carrizal y Golondrinas

Los caudales medidos en las tres estaciones de aforo son consistentes entre sí y en general coinciden con la ocurrencia de los eventos de lluvia. En la figura 19 se observa que a comienzos de diciembre de 2021 se registró un evento de lluvia en las estaciones pluviométricas La Galvicia, El Brasil y Tona, siendo La Galvicia la que registró una magnitud mayor que afectó las Estaciones de Carrizal y Golondrinas con un aumento notable en sus respectivos caudales, sin embargo, como la magnitud registrada en Tona no fue alta, y sus efectos fueron menores en el aumento del caudal de la Estación Tona.

Las entradas de flujo se encuentran localizadas sobre la margen izquierda del río, entre las estaciones Tona y Carrizal, las entradas 8 y 10 presentan bastante similitud con el comportamiento del caudal de la Estación Tona, posiblemente por su cercanía a esta. Como se observa en la siguiente gráfica, el aporte total de las entradas en los tramos de medición se mantiene entre 0.10 y 0.16 m³/seg; durante el periodo de medición y responden a los eventos de lluvia.

Ilustración 20. Datos del caudal total de entradas al río Tona



Fuente: Datos obtenidos en las Estaciones Tona, Carrizal y Golondrinas

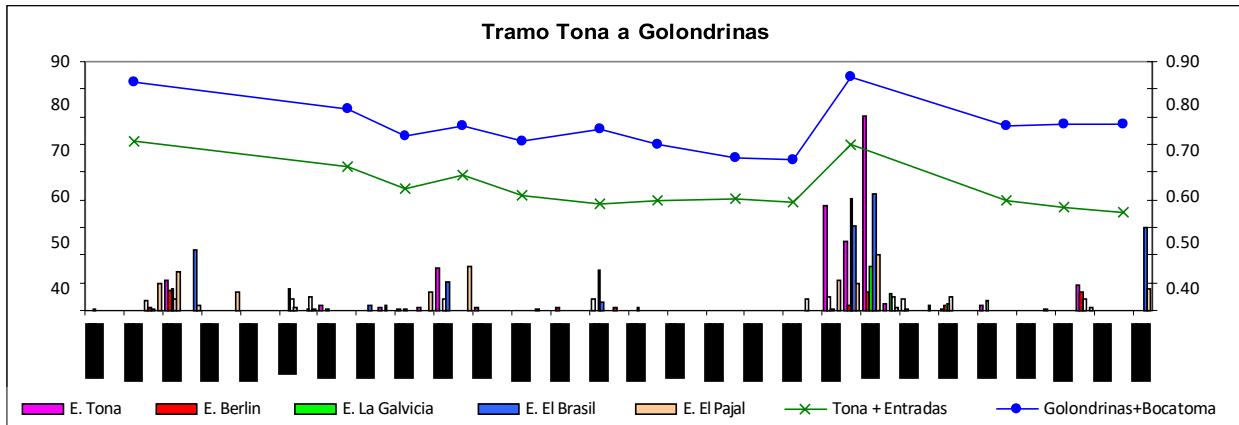
El tramo escogido para realizar los aforos sobre el río Tona se dividió en tres subtramos.

- Estación Tona a Estación Golondrinas
- Estación Tona a Estación Carrizal
- Estación Carrizal a Estación Golondrinas

Las estaciones de aforo se localizaron de acuerdo con las condiciones geológicas de la zona y presencia de fallas geológicas. La estación Tona se encuentra localizada sobre un relleno aluvial, y las estaciones Carrizal y Golondrinas sobre la Cuarzomonzonita de la Corcova, localizadas respectivamente antes y después de la falla de Río Frío.

El tramo total del estudio tiene una longitud de 6.65 km, desde la estación Tona a la estación Golondrinas. Al graficar el caudal de Tona adicionando las entradas para ser comparado con el caudal registrado en Golondrinas más los caudales tomados en la bocatoma, se observa una ganancia subterránea.

Ilustración 21. Caudal de Tona+ Entradas vs Golondrinas + Bocatoma

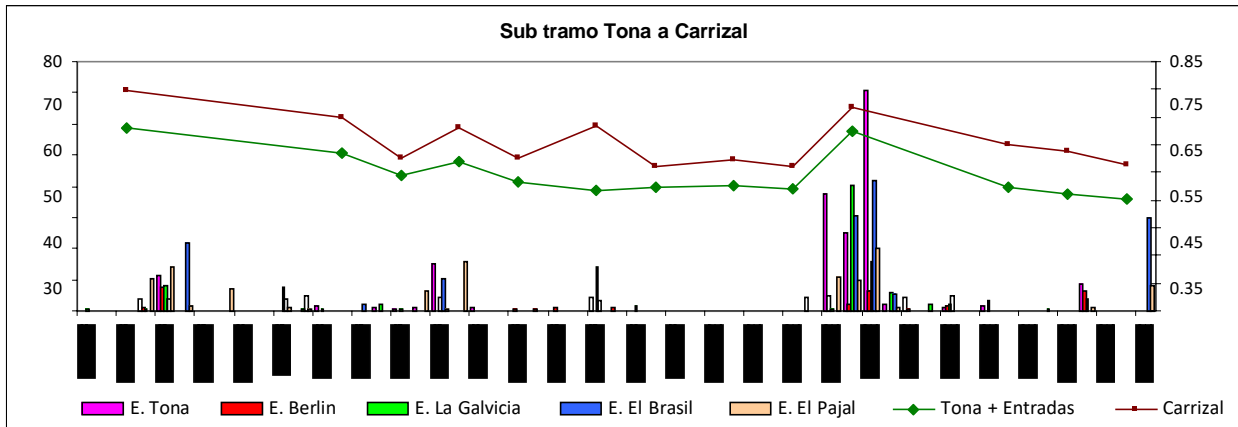


Fuente: Datos obtenidos en las Estaciones Tona, Carrizal y Golondrinas

El valor de la ganancia subterránea se halló promediando la diferencia de caudales entre los registros de Tona más las entradas y los caudales medidos en Golondrinas incluyendo el efecto de los caudales captados en la bocatoma. El promedio de este valor se obtiene con los registros de los días en que no se presentaron lluvias según las fuentes de información (estaciones cerca a la microcuenca del río Tona) (a comienzos de diciembre de 20021 y finales de diciembre del mismo año, así mismo durante los primeros días del mes de enero de 2022), es decir, son estimados durante las épocas de recesión. La ganancia tiene un caudal promedio de 0.188 m³/seg, al tomar la longitud total del tramo la ganancia de caudal por longitud es de 28 lt/seg/km.

A lo largo del tramo estación Tona a Carrizal de 5.65 km de longitud se encuentran las 11 entradas que fueron aforadas en esta campaña, así que, para analizar posibles entradas de aguas subterráneas al flujo principal, al caudal medido en Tona se le adicionó el caudal total de las entradas y se graficó junto al caudal medido en la estación Carrizal, con el fin de observar la diferencia de ellos.

Ilustración 22. Caudal de Tona + Entradas vs caudal en Carrizal



Fuente: Datos obtenidos en las Estaciones Tona, Carrizal y Golondrinas

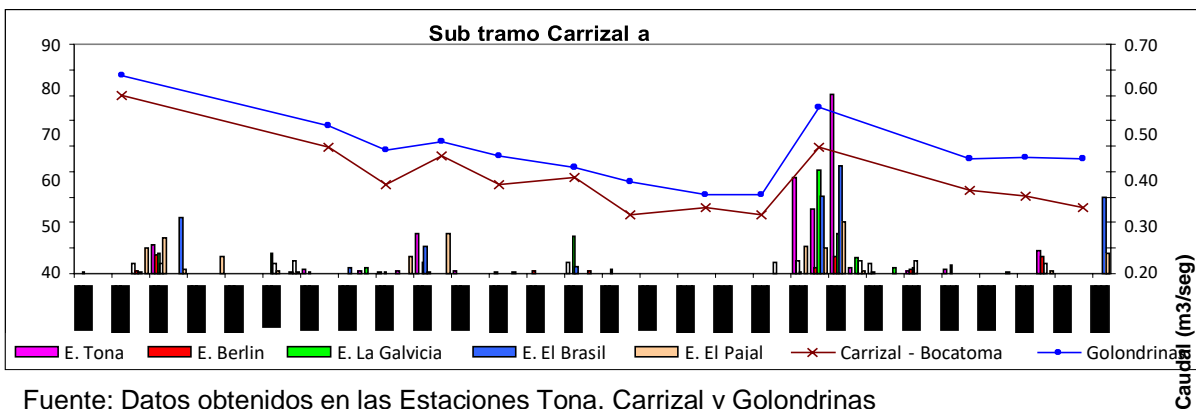
En la ilustración 22, se observa el comportamiento similar de los caudales, a excepción del caudal medido a finales de diciembre de 2021, día durante el cual asciende el caudal de Carrizal. Como se explicó anteriormente, tal efecto se originaría a causa de la lluvia registrada en la estación La Galvicia, que afecta directamente al sitio de Carrizal.

Se puede plantear que en este tramo existe ganancia de caudal subterráneo, el caudal registrado aguas abajo (Estación Carrizal) es mayor al de la estación localizada aguas arriba (Estación Tona). Para hallar un valor de ganancia subterránea, se estimó la diferencia de caudales en los días más secos (a principios de diciembre y finales de diciembre de 2021 y comienzos de 2022), dando un caudal promedio de 0.090 m³/seg, al tener en cuenta la longitud del tramo, la ganancia es de 16 lt/seg/km.

El tramo tiene una longitud de 1.0 km y sobre este, se encuentra ubicada la bocatoma del AMB, por lo tanto, para aplicar una ecuación de conservación de masa, se debe tener en cuenta el caudal captado por el acueducto en la bocatoma.

Se graficó el caudal medido en la estación Golondrinas frente a el caudal total entre lo captado en la bocatoma y el medido en Carrizal. En este caso las salidas de la bocatoma, suavizan las fluctuaciones de los caudales aforados en la Estación Golondrinas.

Ilustración 23. Caudal de Carrizal – caudal captado Bocatoma vs caudal Golondrinas



Fuente: Datos obtenidos en las Estaciones Tona, Carrizal y Golondrinas

En la ilustración 23 se puede observar una ganancia de flujo subterráneo, ya que los días de no lluvia, donde se espera que no haya aporte de entradas, y si lo hay que sea mínimo, el caudal de la estación Golondrinas es mayor al caudal medido en Carrizal más lo captado en la bocatoma. Esta ganancia se puede valorar teniendo en cuenta el promedio de la diferencia de caudales durante los días secos (primeros días de diciembre de 2021 y comienzos de enero de 2022), dando un valor de 0.065 m³/seg, lo que significa una ganancia de 65 lt/seg/km.

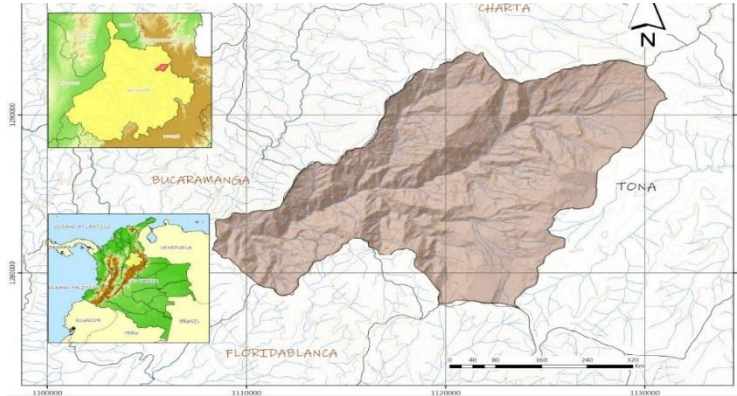
El municipio de Tona se encuentra localizado en el Nororiente de la cuenca superior del río Lebrija, en la provincia de Soto, Departamento de Santander, según coordenadas 7° - 15' de latitud norte y a 73° - 03' de longitud oeste. La cabecera municipal está ubicada a 37 Km de Bucaramanga. El municipio de Tona limita por el Norte con los municipios de Charta y Vetas, al sur con Santa Bárbara,

Piedecuesta y Floridablanca y al occidente con Bucaramanga, al oriente El departamento de Norte de Santander. Tiene una extensión de 33.937 has, se encuentra entre los 1.100 y los 3.700 m.s.n.m., posee temperaturas medias entre los 6 y los 22°C y precipitaciones entre 760 y 1.020 mm., con épocas de veranos cortos a principios y mediados del año, predominan los climas fríos a muy fríos, ubicado en las zonas de vida bosque húmedo premontano, bosque húmedo montano bajo y páramo sub-andino.

Descripción general del área de estudio

El municipio de Tona forma parte de las tierras de montaña de la vertiente occidental de la cordillera oriental, el 42% de su superficie corresponde a un relieve bajo y ondulado con pendientes moderadas (6 al 30%), un 37% del área corresponde a terrenos quebrados con pendientes entre los 31 y 70% y el 21% del área son terrenos muy escarpados con pendientes superiores al 71%. Los suelos en su mayoría presentan un alto grado de deterioro por procesos erosivos, de textura franco-arenosa, moderadamente profundos y buen drenaje. El municipio está conformado por seis microcuencas a saber: La microcuenca Tona Alto, Tona Medio, Tona Bajo, Golondrinas, La Arnanía y La microcuenca Jordán. Dentro de este municipio se encuentran dos corregimientos importantes: Corregimiento de la Corcova y Corregimiento de Berlín.

Ilustración 24. Ubicación general de la Microcuenca Rio Tona

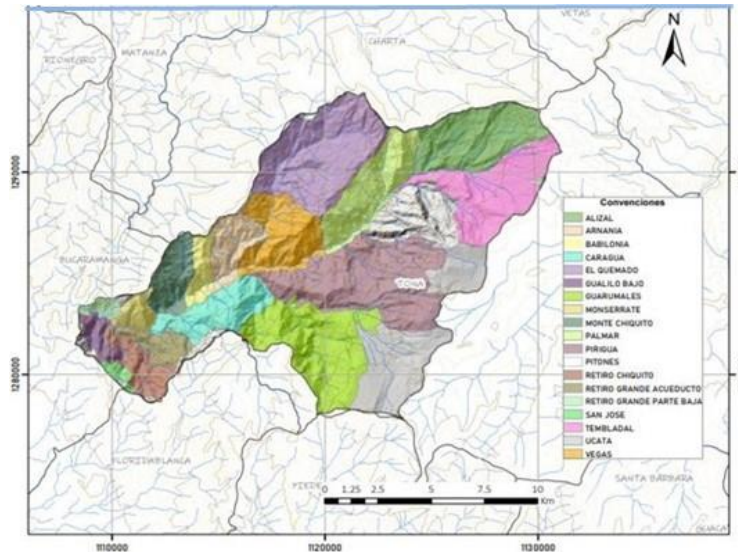


Fuente: Tomado de Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga (CDMB) (2022)

Al validar la cartografía anterior, definida con una escala 1: 25000, se ha podido redefinir contactos litológicos, fallas y su inclinación, pliegues, además de diferenciar los depósitos recientes según su origen.

Por medio de sensores Remotos (imagen satelital, imagen Dem.) se siguieron los trazos del sistema de falla de la Parte Media, los cuales presentan una dirección NW y que continúan en el altiplano de Berlín, comportándose como rutas preferenciales de transporte desde la zona de recarga de Berlín hacia los depósitos almacenadores de la Microcuenca del Río Tona Debido a la complejidad estructural de la microcuenca no se define un comportamiento secuencial de las formaciones; en vez de esto, la cuenca se constituye como un sistema de bloques estructurales que repiten secuencias y enfrenta diversas litologías en un solo punto.

Ilustración 25. Zonas aledañas a la microcuenca del río Tona



Fuente: Tomado de Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga (CDMB) (2022)

Área de la cuenca: corresponde a la proyección en plano horizontal de la superficie delimitada por la divisoria de aguas o puntos más altos, con un valor de 193.50 Km² (Peña, 2018).

Longitud del cauce principal: Longitud tomada de la superficie horizontal desde la salida hasta la parte superior de la cuenca con una longitud de 27.03 Km (Peña, 2018).

Forma de la cuenca: La forma de la cuenca influye sobre los escurrimientos, es así como en una cuenca de forma oblonga y tipo embudo como la del Río Tona, los escurrimientos recorren los cauces secundarios hasta llegar a uno principal por lo que la duración del escurrimiento es superior (Peña, 2018).

La microcuenca del río Tona se localiza en la Provincia Fisiográfica Cordillera Oriental y se distribuye en los pisos térmicos extremadamente frío, muy frío, frío y

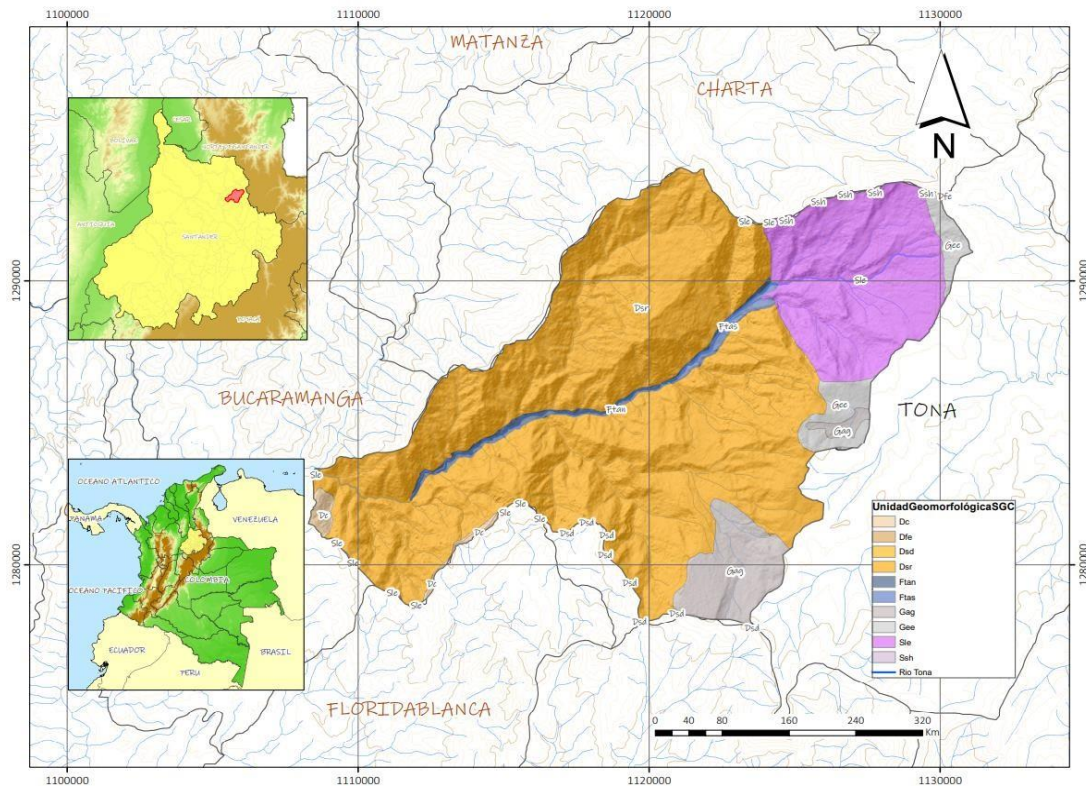
medio (CDMB, 2005). En el área de estudio se encuentran las siguientes Unidades Genéticas de Relieve:

- Relieve Montañoso Glacifluvial
- Relieve Montañoso Fluvioerosional
- Relieve Montañoso Estructural Denudativo
- Piedemonte Coluvial
- Valle aluvial

A partir de las propiedades hidráulicas de cada unidad litológica consolidada presente en la microcuenca del río Tona, la formación Rosablanca, caracterizada por la porosidad secundaria originada a partir de la disolución de tipo químico y el fracturamiento, se constituye como la unidad que permite con mayor facilidad el movimiento y almacenamiento de agua; al igual que la formación Tablazo. La Formación Tambor además de presentar porosidad secundaria, posee porosidad de tipo intergranular o primaria, pero debido al grado de compactación hacia la zona NE de la microcuenca disminuye estas características. Aunque su interés disminuye debido a que se encuentra en la parte alta de la cuenca y su demanda es muy baja. (Miranda-Martínez, 2016)

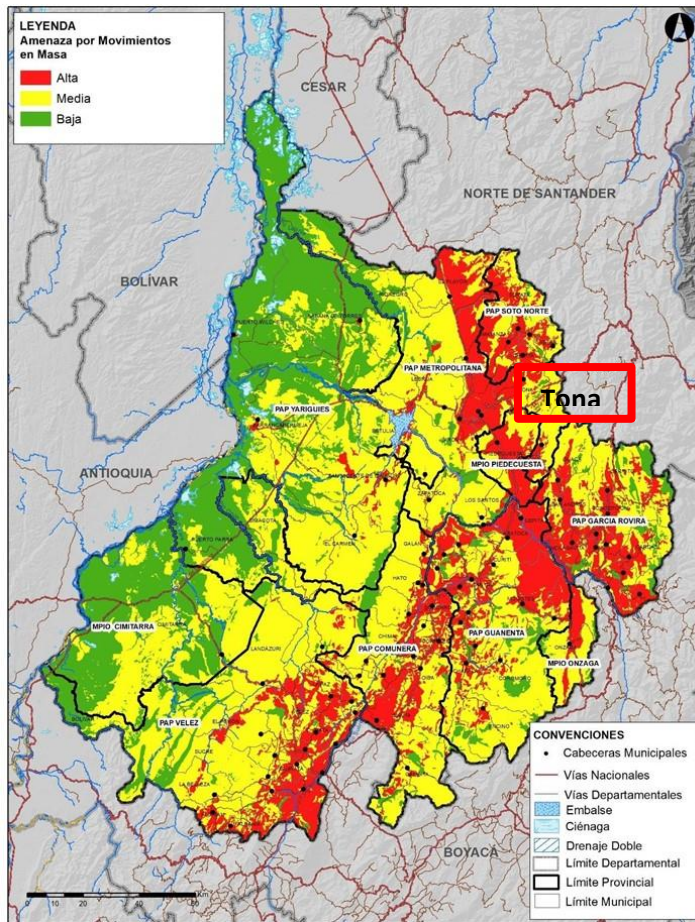
Las rocas cristalinas se caracterizan por tener una porosidad primaria nula y su porosidad secundaria corresponde a la influenciada de la actividad tectónica. La unidad con mayores propiedades hidráulicas corresponde al Ortoneis de Berlín por presentar una granulometría de grano medio a grueso comportando como un sistema que permite la conducción de agua a otras formaciones debido a que aflora principalmente en el altiplano de Berlín y está afectado por fallas principales. (Miranda-Martínez, 2016)

Ilustración 26. Geomorfología – Subcuenca del Río Tona



Fuente: Tomado de Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga (CDMB) (2022)

Ilustración 27. Mapa de amenaza por fenómenos de movimientos en masa en el departamento de Santander



Fuente: Tomado de cartografía POD Santander (2019)

5. RESULTADOS

5.1. SALIDA DE CAMPO

Se realiza una salida de campo en la cual se toman datos los cuales no sirven para realizar los respectivos cálculos del análisis hidrológico e hidráulico.

Se realiza un vuelo con el RPAS del área de estudio que comprende 120 Hectáreas, esta información es muy importante para el modelo que se quiere realizar.

Ilustración 28. Rio Tona



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 29. Salida de campo inspección del Rio



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 30. Muestreo



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 31. Salida de campo



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 32. Preparación del Drone



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 33. Salida de campo



Fuente: Elaboración propia

5.2. LEVANTAMIENTOS FOTOGRAMETRICOS

Inicialmente se realiza un reconocimiento de la zona para observar el área a levantar, posteriormente se analiza cual es el mejor sitio para iniciar el respectivo levantamiento, dicho levantamiento se realiza mediante vuelos con equipo aéreo no tripulado (RPAS), y contempla la captura de información superficial basada en puntos (x.y.z) y fotografías aéreas para la generación de curvas de nivel y ortofotos.

5.2.1. Captura de la información

Para la realización de los sobrevuelos es necesario ejecutar tres procedimientos, los cuales consisten en, primero la planeación de los vuelos, segundo los trabajos de campo y tercero el trabajo de oficina. Existen tres factores necesarios a tener en

cuenta en el desarrollo de las actividades de campo como lo son la elevación (m.s.n.m.), la velocidad del viento y las condiciones meteorológicas de la zona.

La programación de los vuelos se realiza mediante el programa DJI TERRA, ya programado el vuelo sabemos que tiempo se demora el RPAS en realizar el levantamiento fotogramétrico del sitio.

5.2.2. Plan de vuelo

Esta fase contempla todas las actividades previas para la ejecución de los trabajos de campo. Es necesario contar inicialmente con el área a levantar y la ubicación del sitio para así tener una percepción de las condiciones del terreno (pendiente, vegetación, entre otras), para visualizar estas condiciones se puede contar con la ubicación sobre fotografías existentes y/o usando el visor geográfico de Google Earth. Una vez ubicada y generada el área como polígono se procede a importar en el software DJI TERRA en formato KML (archivo Google Earth), el cual permite generar el plan de vuelo que se va a desarrollar. Se deben definir los puntos de despegue y de aterrizaje del RPAS, aunque es preferible realizarlo en tiempo real (campo) con el fin de establecer el mejor sitio.

Ilustración 34. Plan de vuelo en DJI TERRA



Fuente: Elaboración propia

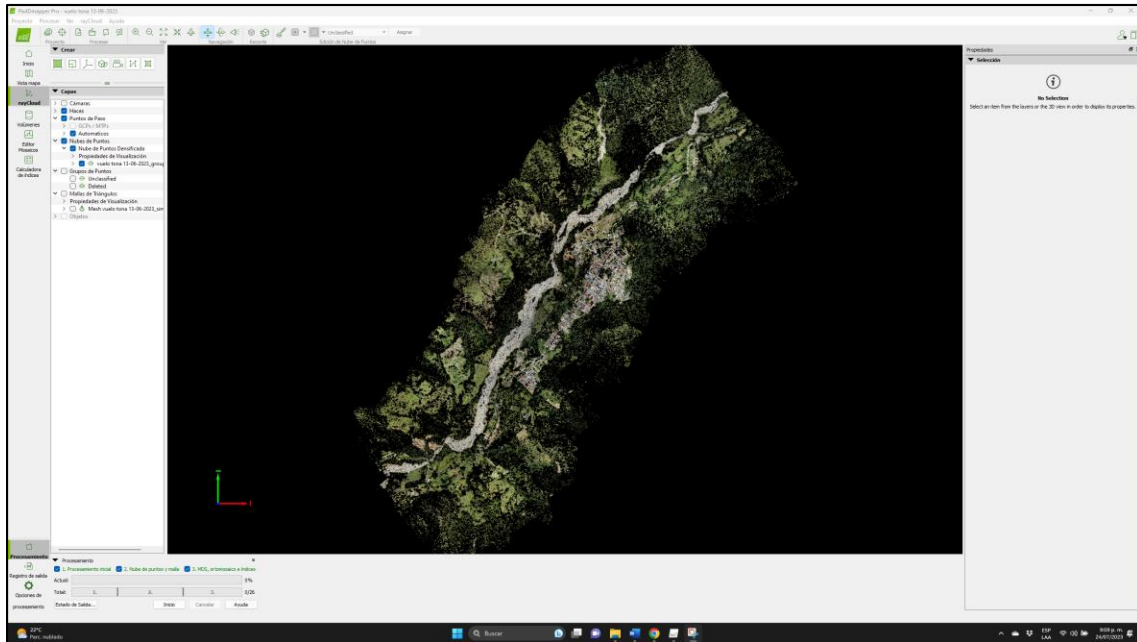
5.2.3. Trabajo de campo

Los trabajos de campo corresponden al funcionamiento del RPAS en la zona definida, teniendo en cuenta los puntos de salida y aterrizaje para cada vuelo, se debe verificar inicialmente la velocidad y dirección del viento las condiciones meteorológicas y que la zona se encuentre lo más despejada posible, para así evitar inconvenientes. Una vez ya definido el punto de lanzamiento y aterrizaje óptimo, se procede a poner en funcionamiento el RPAS; mientras el RPAS realiza el plan de vuelo se hace el seguimiento del comportamiento y ubicación de este, finalmente se descargan las fotografías tomadas por el RPAS, se verifica que hayan quedado bien y así poder seguir con el proceso de la información en oficina.

5.2.4. Trabajos de oficina

El trabajo de oficina consiste en procesar la información recolectada de los vuelos realizados en campo, una vez descargados los datos del sensor, se cargan al software del fabricante, para este caso PIX4D de DJI, el cual se encarga de procesar la información y presentarnos un modelo tridimensional con los datos capturados.

Ilustración 35. Procesamiento fotografías Pix4D



Fuente: Elaboración propia

5.3. EQUIPOS

A continuación, se describen los equipos utilizados para la toma de los datos y procesamiento de la información (hardware y software).

5.3.1. Drone

El equipo utilizado para la captura de las imágenes corresponde a un Drone DJI Matrice 300 RTK.

Ilustración 36. DJI Matrice 300 RTK



Fuente: DJI.

Tabla 4 Especificaciones DJI Matrice 300 RTK

Dimensiones	Desplegado, hélices excluidas, 810 x 670 x 430 mm (L x W x H)
	Plegado, hélices incluidas, 430 x 420 x 430 mm (L x W x H)
Distancia entre ejes diagonal	895 milímetros
Peso (con cardán único hacia abajo)	Aprox. 3,6 kg (sin pilas)
	Aprox. 6,3 kg (con dos baterías TB60)
Máximo de carga útil	2,7 kilogramos
Peso máximo al despegue	9 kilogramos
Frecuencia de operación	2,4000-2,4835 GHz
	5,725-5,850 GHz
EIRP	2,4000-2,4835 GHz:
	29,5 dBm (FCC);
	18,5 dBm (CE) 18,5 dBm (SRRC); 18,5 dBm (MIC)
	5,725-5,850 GHz:
	28,5 dBm (FCC); 12,5 dBm (CE)
	28,5 dBm (SRRC)
Precisión de vuelo estacionario (modo P con GPS)	Vertical:
	± 0,1 m (sistema de visión habilitado)
	± 0,5 m (GPS habilitado)
	± 0,1 m (RTK habilitado)
	Horizontal:
	± 0,3 m (sistema de visión habilitado)
	± 1,5 m (GPS habilitado)
	± 0,1 m (RTK habilitado)

Precisión de posicionamiento RTK	Quando RTK está habilitado y fijo:
	1 cm + 1 ppm (horizontal)
	1,5 cm + 1 ppm (vertical)
Velocidad angular máxima	Paso: 300 ° / s, guiñada: 100 ° / s
Ángulo de paso máximo	30 ° (modo P, sistema de visión hacia adelante habilitado: 25 °)
Velocidad máxima de ascenso	Modo S: 6 m / s
	Modo P: 5 m / s
Velocidad máxima de descenso (vertical)	Modo S: 5 m / s
	Modo P: 4 m / s
Velocidad máxima de descenso (inclinación)	Modo S: 7 m / s
Máxima velocidad	Modo S: 23 m / s
	Modo P: 17 m / s
Techo de servicio sobre el nivel del mar	5000 m (con 2110 hélices, peso al despegue ≤ 7 kg) / 7000 m (con 2195 hélices, peso al despegue ≤ 7 kg)
Resistencia máxima al viento	15 m / s
Tiempo máximo de vuelo	55 min
GNSS	GPS + GLONASS + BeiDou + Galileo
Temperatura de funcionamiento	-20 ° C a 50 ° C (-4 ° F a 122 ° F)

Fuente: DJI

Tabla 5 Ficha técnica sensor Zenmuse P1 (35mm)

SENSOR	
nombre del producto	ZENMUSE P1
Dimensiones	198 x 166 x 129 milímetro
Peso	Aprox. 800 g
Poder	20W
Clasificación del IP	IP4X
Aeronaves compatibles	Matrice 300 RTK
Rango de temperatura de funcionamiento	-20 ° a 50 ° C (-4 ° a 122 ° F)
Rango de temperatura de almacenamiento	-20 ° a 60 ° C (-4 ° a 140 ° F)
Exactitud absoluta	Horizontal: 3 cm, Vertical: 5 cm *
	* Usando Mapping Mission a un GSD de 3 cm y una velocidad de vuelo de 15 m / s, con una tasa de superposición frontal del 75% y una tasa de superposición lateral del 55%
Cámara	
Sensor	Tamaño del sensor (imagen fija): 35,9 x 24 mm (fotograma completo)
	Tamaño del sensor (área máxima de grabación de video): 34 x 19 mm
	Píxeles efectivos: 45 MP
	Tamaño de píxel: 4,4 µm
Lentes compatibles	DJI DL 24 mm F2.8 LS ASPH (con parasol y anillo / filtro de equilibrio), FOV 84 °

	DJI DL 35 mm F2.8 LS ASPH (con parasol y anillo / filtro de equilibrio), FOV 63,5 °
	DJI DL 50 mm F2,8 LS ASPH (con parasol y anillo / filtro de equilibrio), FOV 46,8 °
Tarjetas SD compatibles	SD: clasificación UHS-I o superior; Capacidad máxima: 512 GB
Archivos de almacenamiento	Foto / Datos de observación sin procesar GNSS / Archivo de registro de imagen
Tamaño de la foto	3: 2 (8192 × 5460)
Modos de operación	Foto, video, reproducción
Intervalo mínimo de fotos	0,7 s
Velocidad de obturación	Velocidad del obturador mecánico:
	1/2000 * -1 s Velocidad del obturador electrónico: 1 / 8000-1 s
	* Valor de temperatura no mayor que $f / 5.6$
Rango de apertura	$f / 2.8-f / 16$
Rango ISO	Foto: 100-25600
	Vídeo: 100-25600
Video	
Formato de video	MP4, MOV
Resolución de video	16: 9 (1920 × 1080)
	16: 9 (3840 × 2160) *
	* Solo se admiten lentes de 35 mm
Cuadros por segundo	60 fps
Cardán	
Sistema estabilizado	3 ejes (inclinación, balanceo, giro)
Rango de vibración angular	$\pm 0,01$ °

Montar	DJI SKYPORT desmontable
Rango Mecánico	Inclinación: -130 ° a + 40 °;
	Rollo: -55 ° a + 55 °;
	Pan: ± 320 °

Fuente: DJI

5.3.2. GPS de doble frecuencia

Para la toma y georreferenciación de los puntos de control se utilizó un equipo GPS de doble frecuencia GNSS RTK marca SOUTH referencia NEW GALAXY G1.

Ilustración 37. GNSS RTK GALAXY G7



Fuente: Elaboración Propia

5.3.3. Computador de oficina

Para los procesamientos y almacenamientos de la información se utilizó un equipo de mesa ThinkStation de 32 Gb de RAM procesador Intel(R) Xeon(R) y 2 TB de almacenamiento con tarjeta de video NVIDIA Quadro K600.

Ilustración 38. ThinkStation Lenovo e31

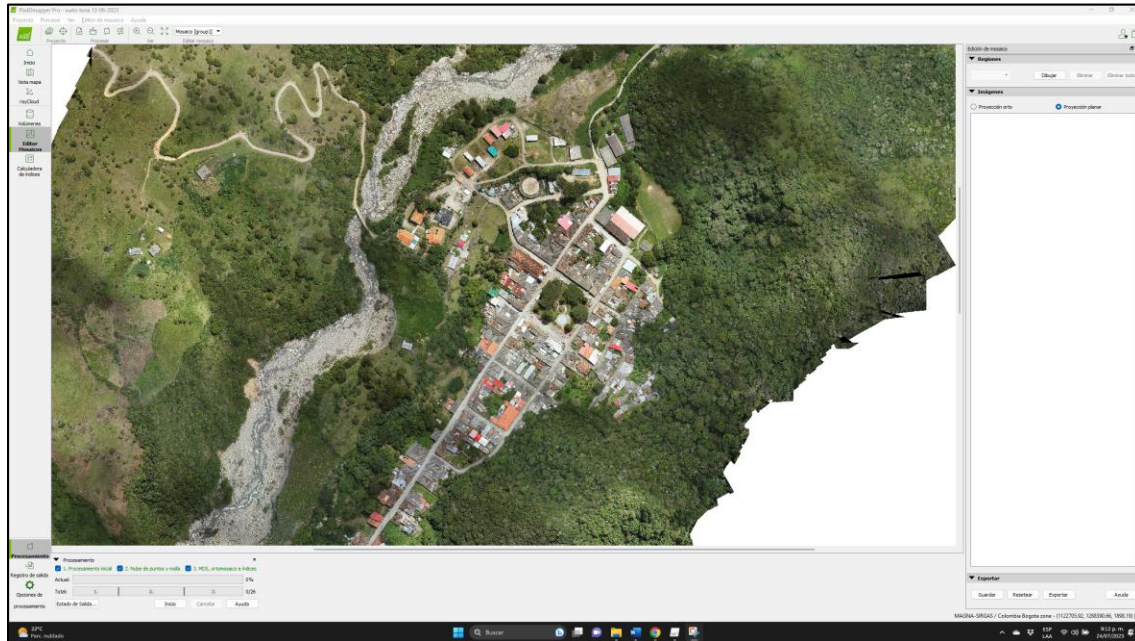


Fuente: Elaboración propia

5.3.4. Software

Para el plan de vuelo se utiliza el software DJI TERRA y para el procesamiento del orto mosaico el software Pix4D.

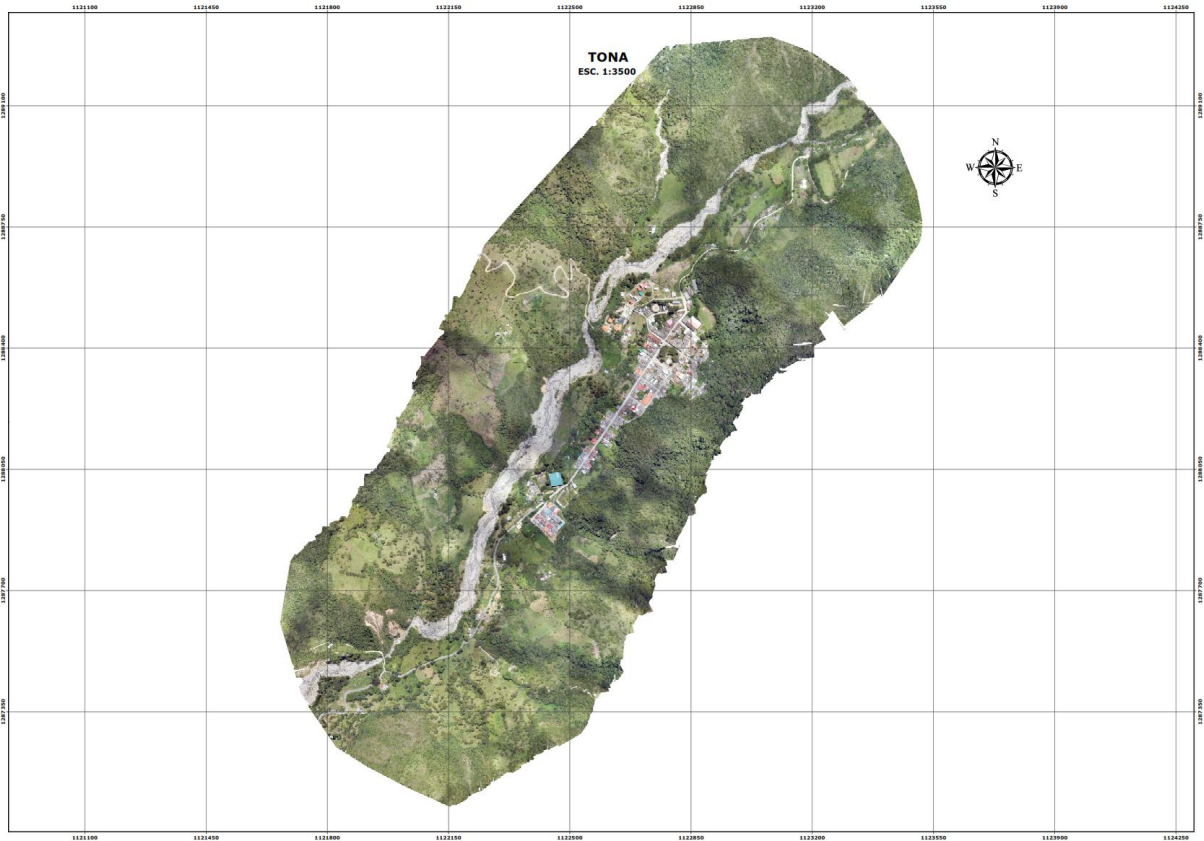
Ilustración 39. Software de planeación y procesamiento de datos



Fuente: Elaboración propia

5.4. MUNICIPIO DE TONA

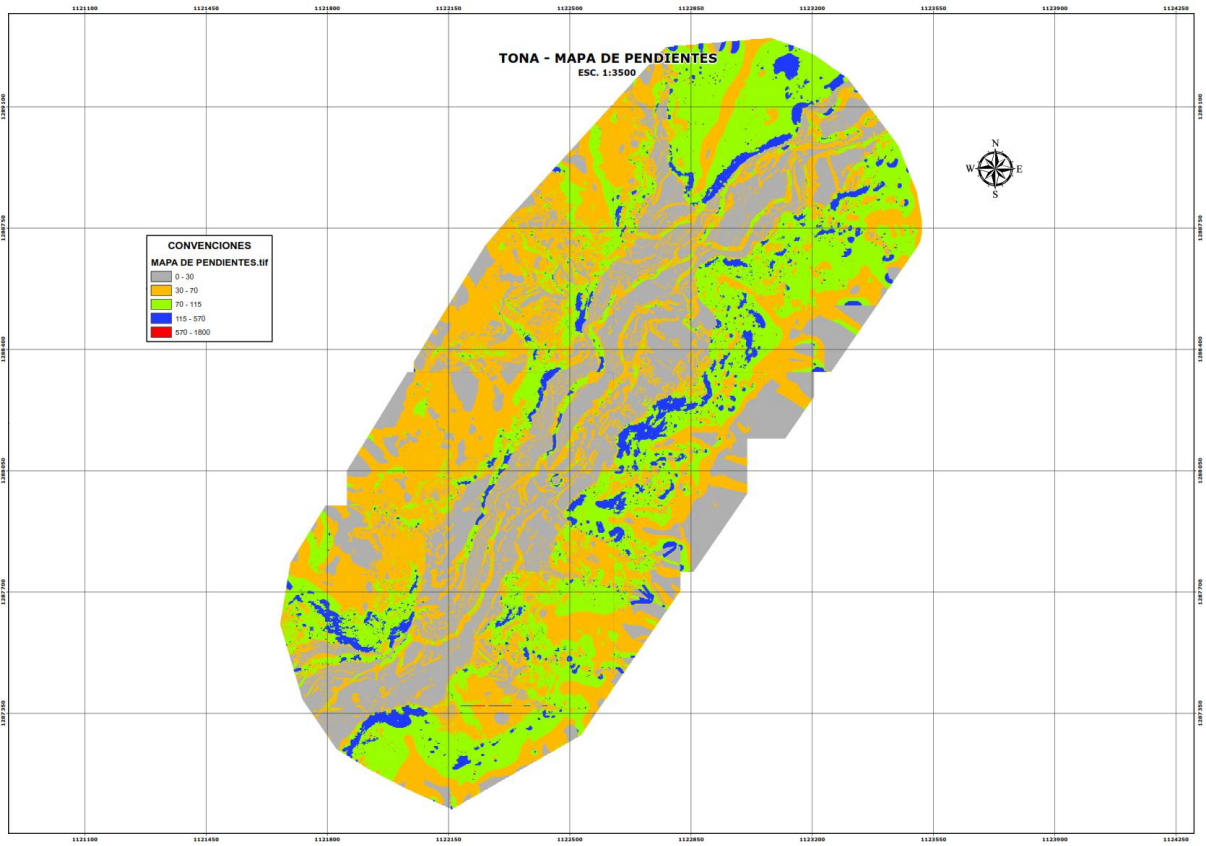
Ilustración 40. Ortofoto Tona Julio 2023



Fuente: Elaboración propia

5.5. MAPA DE PENDIENTES

Ilustración 41 Mapa de Pendientes



Fuente: Elaboración propia

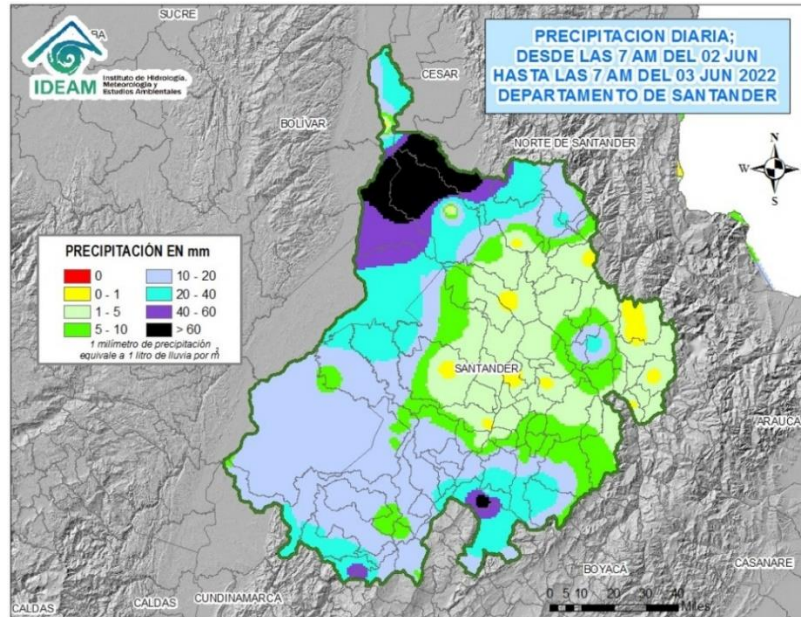
5.6. RESULTADO MODELO AVENIDA TORRENCIAL

Ilustración 42 Modelo



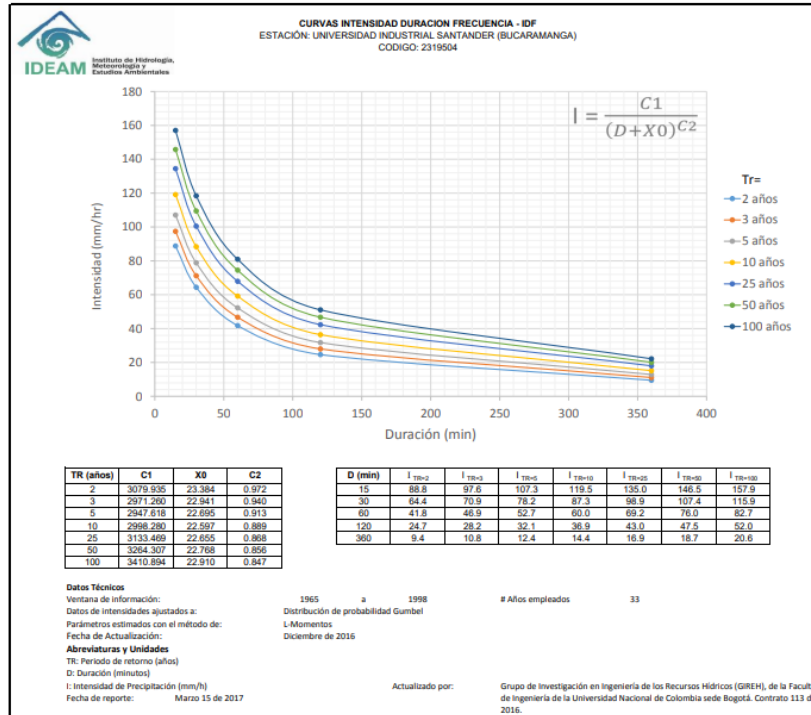
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 43 Precipitación media en Santander durante los años 2012 a 2022



Fuente: IDEAM

Ilustración 44 Curva de intensidad duración frecuencia



Fuente: IDEAM

Se puede observar en el mapa isotérmico, que las zonas que comprenden la cuenca del río Tona se ven más azules y verdes, indicando que son más frías. Para el caso de la precipitación, lo que se puede observar en la Figura 13, es que algunas zonas que se encuentran por la cuenca del río Tona, presentan bajas precipitaciones, debido a que están entre los 787.5 mm y 1800 mm, mientras que, en los demás municipios, se obtuvieron valores de precipitación media anual que oscilan entre los 800 mm y 3300 mm.

Estas variaciones de temperatura y precipitación, son producidas como tal, por el ciclo de ENOS (El Niño-Oscilación del Sur), que es un fenómeno natural, caracterizado principalmente por el calentamiento de las aguas superficiales del océano Pacífico Ecuatorial y Oriental, que se origina por los cambios generados en

la atmósfera, los cuales aumentan por las actividades antrópicas, ya que favorecen a la contaminación del aire, el agotamiento de la capa de ozono, etc. Esta anomalía comienza en el Oeste del océano Pacífico, que tiene una temperatura de 29°C, baja presión atmosférica y precipitaciones altas, ya que, en el lado Este, hay temperaturas que oscilan entre 21°C y 26°C, alta presión atmosférica y precipitaciones bajas.

Estas características son brindadas por la Celda de Walker, la cual genera una circulación atmosférica sobre el Pacífico ecuatorial y se caracteriza por un flujo de viento alisios hacia el Oeste, un ascenso en el Pacífico ecuatorial Occidental, un flujo de vientos hacia el Este en niveles altos de la tropósfera, y un descenso distribuido en toda la zona ecuatorial al Este de la región de ascenso.

Con base en los resultados, se puede decir que la altitud tiene mayor influencia para la microcuenca del río Tona, ya que, en el caso de la temperatura media anual, se pudo ver que en esta zona se presentaron menos valores, debido a que, por tener una altitud de 1909 m.s.n.m, se produce un menor calentamiento de las masas de aire en ese lugar. En el caso de la precipitación, se puede decir que, aunque no esté cerca de la costa pacífica y reciba los efectos del niño, gran parte de las regiones aledañas a la microcuenca del río Tona no presenta temperaturas medias anuales tan bajas, debido a que, al contar con una mayor altitud, las masas de aire ascienden por el relieve de la región y se van enfriando hasta provocar la condensación del agua y, por ende, las precipitaciones.

Mediante consulta bibliográfica en documentos que reposan en la alcaldía de Tona como lo son el Plan de Ordenamiento Territorial y estudios realizados sobre la microcuenca del río Tona, se aprecia que durante los últimos 10 años la amenaza hidrológica en esta región, está representada por las inundaciones asociadas a

avenidas torrenciales. Teniendo en cuenta que según los habitantes la cota máxima de inundación en el río Tona, no sobrepasa los dos (2) metros y sólo algunos decímetros en otras corrientes principales del municipio, se ha categorizado la amenaza a inundaciones como moderada. Las áreas con susceptibilidad a este fenómeno corresponden a las vegas aledañas al río Tona, quebrada Armania y río Pescadero en el área aledaña a Berlín.

6. CONCLUSIONES

Se logró organizar la información existente consultada en base de datos de internet, POT del municipio de Tona y POT de Santander, la información recolectada permitió desarrollar por medio del primer objetivo un instrumento de planificación para el desarrollo territorial del núcleo 2, por medio de diferentes datos históricos que sirvieron como soporte al estudio e investigación acá propuesta.

De igual forma, se pudo analizar las amenazas por inundación de la microcuenca del río Tona, teniendo en cuenta la información histórica de los eventos que han sufrido en la zona en los últimos 22 años. En este caso, fue poca la información que se pudo obtener respecto al objetivo planteado, sin embargo, se desarrolló el mismo conforme a investigación documental y uso de registros obtenidos mediante el municipio de Tona y zonas aledañas a la microcuenca del río Tona.

Se creó un modelo mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) de la zona de estudio, mediante investigación de campo y toma de registro de datos obtenidos mediante las estaciones ubicadas en la microcuenca del río Tona, donde se logró evidenciar la cota máxima que podría alcanzar la inundación y el área total que se vería afectada por un evento como este a gran escala.

Se puede concluir que el flujo base del río indica la existencia de un acuífero superficial compuesto por la roca meteorizada y diaclasada del cuarzo monzonita de la Corcova, la cual es una de las áreas de mayor interés hidrogeológico en esta zona.

El drenaje más significativo, por su aporte de agua superficial al Río Tona, se encuentra localizado entre la estación de Tona y la estación Carrizal. Este aporte

es casi exclusivamente debido al drenaje superficial del extremo Sur del Río, el aporte del extremo Norte es casi nulo o poco observable. Las entradas de agua superficial (tributarios) reportan en promedio 14 lt/s, un 42% del caudal medido en la estación Tona, aumenta con los días de lluvia y disminuyen con días de no lluvia. Resulta notorio que en el siguiente tramo del río (Carrizal a Golondrinas) no se observan aportes superficiales de agua, el drenaje superficial cambia drásticamente respecto al anterior tramo (Servicio Geológico colombiano, 2007)

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Calderón Ramírez, D. R. & Frey, K. (2017, 30 enero). El ordenamiento territorial para la gestión del riesgo de desastres naturales en Colombia. Territorios, 36. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.4795>

Como entender los desastres. (2018). En Capítulo I.
<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Febrero2006/CD-2/pdf/spa/doc4082/doc4082-contenido.pdf>

Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños. (1991). Recuperado 27 de septiembre de 2022, de Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de los Estados Americanos website: <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea57s/ch008.htm>

Estrategias de mitigación de amenazas en la planificación del desarrollo. (1991). Recuperado 27 de septiembre de 2022, de Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de los Estados Americanos website: <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea57s/ch008.htm>

Gestión de riesgo de amenazas naturales en proyectos de desarrollo. (1991). Recuperado 25 de septiembre de 2022, de UN Office For Disaster Risk Reduction website: https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/proteccion-infraestructura/gestion_de_riesgo_de_amenaza/check-list.pdf

Gestión de riesgos de amenazas naturales en proyectos de desarrollo. (2005). Recuperado 18 de octubre de 2022, de

[https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/proteccion-
infraestructura/gestion_de_riesgo_de_amenaza/check-list.pdf](https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/proteccion-infraestructura/gestion_de_riesgo_de_amenaza/check-list.pdf)

[https://resources.arcgis.com/es/help/getting-
started/articles/026n0000000t000000.htm](https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm)

Introducción a SIG | ArcGIS Resource Center. (s. f.). Recuperado 15 de octubre de 2022, de Vera Rodríguez, J. M., & Albarracín Calderón, A. P. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. Recuperado 28 de septiembre de 2022, de Scientific Electronic Library Online website: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702017000200109

8. ANEXOS

CAPÍTULO 1. ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

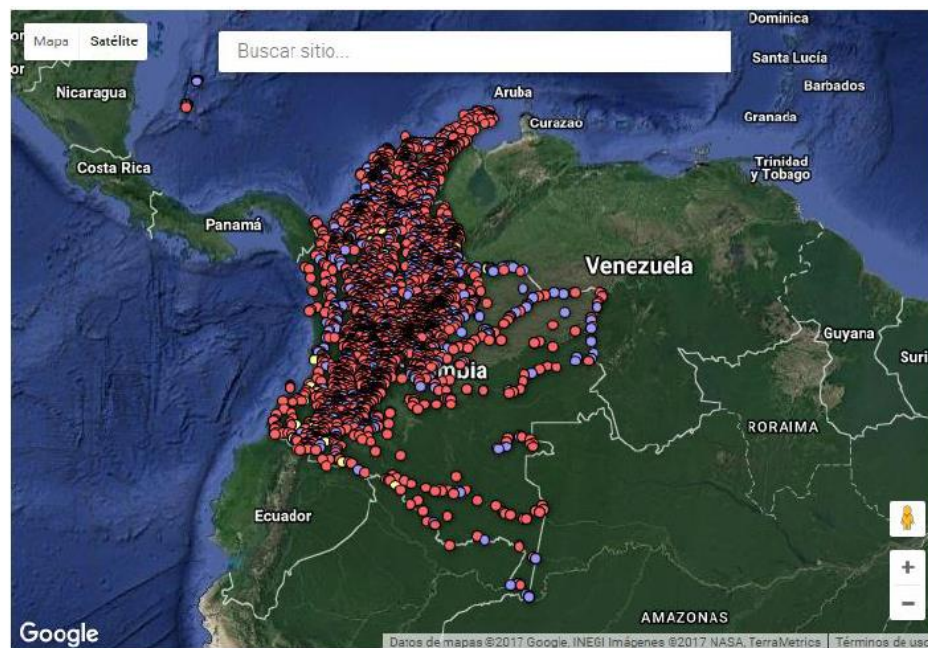
1.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO.

El propósito del análisis hidrológico es determinar mediante métodos numéricos el valor de caudal máximo que pasaría por el área de estudio según los periodos de retorno seleccionados según el tipo de proyecto. El procedimiento general empleado para desarrollar el estudio hidrológico fue el siguiente:

- ❖ Adquisición de los datos hidrológicos de las estaciones más cercanas al área de estudio que disponga el IDEAM.
- ❖ Selección de la metodología de análisis.
- ❖ Análisis de las precipitaciones.
- ❖ Análisis de caudales máximos.

La información hidrológica se obtuvo mediante el catálogo de estaciones del IDEAM, que de acuerdo con la Ley 1712 del 6 de marzo de 2017 la entrega de esta información se realizará de manera gratuita. Dentro del catálogo del IDEAM se cuentan con estaciones meteorológicas, Hidrológicas e Hidrometeorológica distribuidas a lo largo del territorio nacional como se presenta en la Imagen 1.

Imagen 1. Distribución espacial de las estaciones del IDEAM en Colombia.

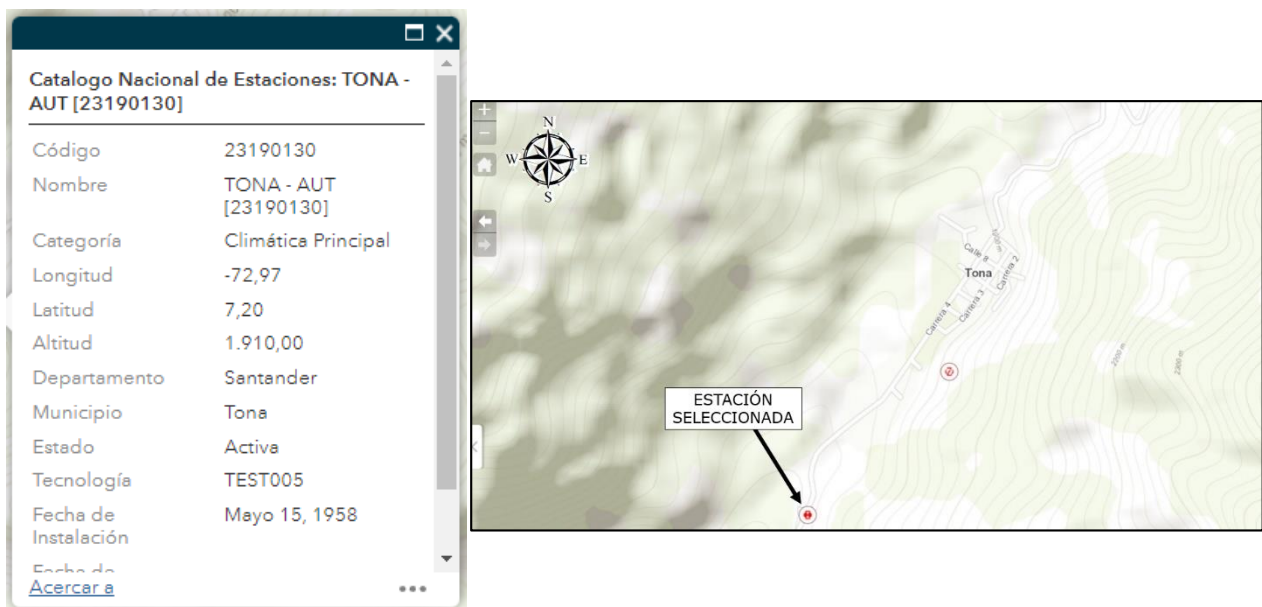


Clase de estación: Meteorológica ●, Hidrológica ●, Hidrometeorológica ●

Fuente: IDEAM – instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Para el análisis realizado se seleccionó la estación que describiera adecuadamente el régimen de precipitación en el área de estudio. Adicionalmente, se revisó que esta no presentara fecha de suspensión y que contara con registros históricos por más de 15 años. Fue seleccionada la estación de Tona - AUT (23190130) teniendo en cuenta que es la estación más cercana al sitio de estudio que cumple con los parámetros descritos anteriormente. A continuación, se presenta la información de la estación implementada.

Imagen 2. Ubicación de la estación de monitoreo seleccionada.



Fuente: IDEAM.

Tabla 6. Estación del IDEAM implementada en el análisis hidrológico.

Estación	Categoría	Departamento	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud
TONA - AUT	Climática principal	Santander	Tona	7.20	-72.97	1910

Fuente: IDEAM.

La estación proporciona una serie de datos de precipitación con frecuencia diaria, por lo cual fue necesario determinar la lluvia máxima anual para seguidamente realizar el análisis hidrológico por medio de los valores obtenidos. Cabe resaltar, que para la estación analizada se tuvieron en cuenta una serie de datos

registrados en un periodo de tiempo de 22 años, contemplando desde el año de 2000 hasta el año 2022.

La serie de datos fue analizada mediante una prueba de datos dudosos con el objetivo de descartar aquellos valores que se alejen significativamente de la tendencia de los datos. Al no tener en cuenta este procedimiento se puede afectar la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información (precipitaciones) y especialmente en muestras pequeñas.

Para establecer si un dato es dudoso o no se aplica una ecuación de frecuencia expresada como

$$YH = \bar{y} + Kn * Sy$$

$$YL = \bar{y} - Kn * Sy$$

Donde:

YH= Umbral superior para datos dudosos en unidades logarítmicas.

YL= Umbral inferior para datos dudosos en unidades logarítmicas.

\bar{y} = Media de los logaritmos de los caudales.

Sy= Desviación estándar de los logaritmos de los caudales.

Kn= Valor tabulado para una muestra de tamaño n (Tabla 7).

Tabla 7. Valor de Kn para la prueba de datos dudosos.

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays (1994)

Tabla 8. Precipitación máxima anual.

AÑO	PRECIPITACIÓN (x)	Log10(x)	CUMPLE
2000	85.0	1.929	Ok
2001	130.0	2.114	Ok
2002	60.0	1.778	Ok
2003	63.0	1.799	Ok
2004	80.0	1.903	Ok
2005	97.0	1.987	Ok
2006	494.0	2.694	Ok
2007	515.0	2.712	Ok
2008	705.0	2.848	Ok
2009	538.0	2.731	Ok
2010	593.0	2.773	Ok
2011	692.0	2.840	Ok
2012	516.0	2.713	Ok
2013	1167.0	3.067	Ok
2014	703.0	2.847	Ok
2015	248.0	2.394	Ok
2016	725.0	2.860	Ok
2017	595.0	2.775	Ok
2018	765.0	2.884	Ok
2019	507.0	2.705	Ok
2020	493.0	2.693	Ok
2021	602.0	2.780	Ok
2022	545.0	2.736	Ok

Fuente: Propia.

- ❖ **Número de muestras:** $n=23$
- ❖ **Desviación estándar:** $S_y=0.403$
- ❖ **Valor tabulado:** $K_n=2.448$
- ❖ **Umbral superior:** $Y_H=3.532$
- ❖ **Media Log:** $\bar{y}=2.546$
- ❖ **Umbral inferior:** $Y_L=1.560$

De estos resultados se concluyó que los datos registrados por la estación TONA - AUT son confiables, debido a que se encuentran dentro de los umbrales calculados. Para estimar el caudal del sitio, es posible utilizar modelos de lluvia - escorrentía y/o modelos de regionalización de caudales.

La aplicación de modelos de lluvia-escorrentía requiere la definición de las características ambientales de la cuenca aportante, como son su geología, tipo y textura de suelos, cobertura vegetal, pendientes y el comportamiento a futuro de la lluvia para un periodo de retorno asociado, con el objeto de definir la capacidad de la cuenca para convertir la precipitación en escorrentía.

1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS HIDROLÓGICOS.

Los procesos hidrológicos evolucionan en el espacio y en el tiempo en una forma que es parcialmente predecible, o determinística, y parcialmente aleatoria, proceso denominado estocástico (VEN TE CHOW, DAVID R. MAIDMENT, LARRY W. MAYS (1994)). Mediante un análisis de frecuencia, la cual es una herramienta utilizada para predecir el comportamiento futuro de eventos en un sitio de interés, a partir de la información histórica se determinó la magnitud del evento lluvia a diferentes períodos de retorno ($Tr=2$, $Tr=3$, $Tr=5$, $Tr=10$, $Tr=25$, $Tr=50$, $Tr=100$ y $Tr=500$ años).

En la estadística existen decenas de funciones de distribución de probabilidad teóricas y claramente no es posible emplearlas todas para un problema en particular. Por lo tanto, se escogieron cuatro funciones de probabilidad recomendadas por diferentes autores a nivel mundial, las cuales se presentan, a continuación.

❖ **Distribución normal**

En esta función la variable (lluvia máxima anual) se distribuyen normalmente. La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\beta} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^2}$$

Donde: α y β son media y desviación estandar de los logaritmos de la variable respectivamente.

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad \beta = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \alpha}{n-1} \right)^2 \right]$$

❖ **Distribución log-normal**

En esta función los logaritmos naturales de la variable (lluvia máxima anual) se distribuyen normalmente. La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2}$$

Dónde: α y β son media y desviación estandar de los logaritmos de la variable respectivamente

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n} \quad \beta = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\ln x_i - \alpha}{n-1} \right)^2 \right]$$

❖ Distribución de Gumbel

Es la función de probabilidad más utilizada en el análisis de datos hidrológicos, teniendo en cuenta una serie de eventos de una muestra es posible demostrar que a medida que n aumenta, la función de probabilidad de x (lluvia máxima anual) tiende a:

$$f(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Los parámetros α y β se determinan como:

$$\alpha = \frac{1.2825}{s} \quad \beta = \bar{x} - 0.45s$$

Para muestras muy grandes, o bien como:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{s} \quad \beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

Para muestras relativamente pequeñas, caso en estudio, los valores de μ_y y σ_y se determinan según la Tabla 9.

Tabla 9. Valores utilizados en la distribución de Gumbel.

n	μ_y	σ_y
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.5600	1.2065

Fuente: Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays (1994)

Definidas las diferentes distribuciones de probabilidad a emplear, se realizaron las proyecciones para los periodos de retorno anteriormente mencionados, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Proyección de precipitación para las diferentes distribuciones.

Precipitación anual máxima (mm) para los periodos de Retorno								
Distribución	2 años	3 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
Normal	474.70	597.88	715.38	841.20	975.36	1062.0 3	1139.9 9	1297.8 0
Log-Normal	351.70	524.37	767.58	1154.2 5	1783.3 6	2362.0 7	3041.4 4	5073.6 1
Gumbel	431.94	573.93	732.08	930.80	1181.8 8	1368.1 5	1553.0 4	1980.2 9

Fuente: Propia.

Con el fin de seleccionar las proyecciones de precipitación para los diferentes periodos de retorno, se realizó la prueba de bondad de ajuste chi cuadrado a las distribuciones de probabilidad empleadas y de esta forma determinar aquella que tenga mayor ajuste a los datos de precipitación máxima anual.

A continuación, la Tabla 11 muestra los resultados de la prueba de chi cuadrado con un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Tabla 11. Valores P de las diferentes distribuciones estadísticas implementadas.

Distribución	Normal	Log-Normal	Gumbel
Valor P	0.0524	0.0002	0.0218

Fuente: Propia.

Como se puede observar en la Tabla 11, únicamente la distribución normal se ajusta a los datos de precipitación máxima anual, ya que sus valores P son mayores al nivel de significancia $\alpha=0.05$, por lo tanto, se emplearán las proyecciones de precipitación obtenidas por esta distribución en los posteriores análisis. Finalmente, la Tabla 12 muestra las precipitaciones a considerar.

Tabla 12. Proyección de precipitación distribución Normal a considerar.

Precipitación anual máxima (mm) para los periodos de Retorno								
Distribución	2 años	3 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
Normal	474.70	597.88	715.38	841.20	975.36	1062.0 3	1139.9 9	1297.8 0

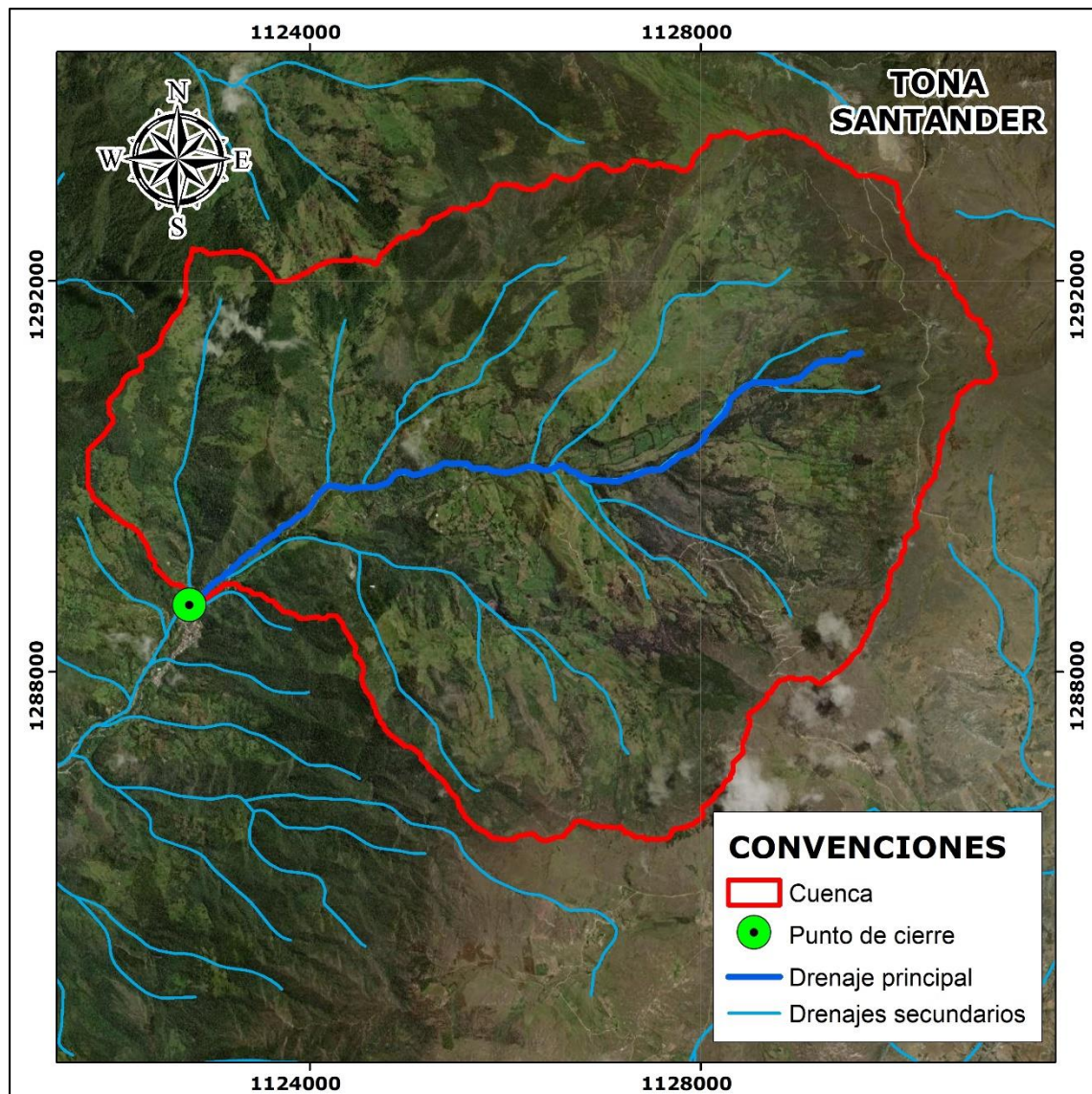
Fuente: Propia.

1.3 CÁLCULO DEL CAUDAL ESPERADO.

Para determinar el valor del caudal para cada periodo de retorno fueron aplicadas tres metodologías diferentes, Método racional, Método racional modificado y el Modelo Lluvia Escorrentía propuesto por el U.S. Soil Conservation Service (U.S.S.C.S), la cuales dependen de las propiedades geométricas de la cuenca en estudio, cobertura vegetal, precipitación de la zona, entre otras variables.

La Imagen 3 muestra la delimitación de la cuenca hidrográfica, la cual se realizó mediante el uso de imágenes satelitales recolectadas del EOSDA LandViewer (<https://eos.com/es/products/landviewer/>) con una resolución de 5.0 metros por pixel.

Imagen 3. Localización cuenca hidrográfica.



Fuente: Propia.

1.3.1 Método racional (M.R.)

Con base en la intensidad, el coeficiente de escorrentía y el área total de la cuenca se determina el caudal de diseño para la cuenca en estudio como:

$$Q = C * I * A$$

Donde:

Q= Caudal de diseño.

C= Coeficiente de escorrentía (c).

I= Intensidad asociada a un periodo de retorno.

A= Área de la cuenca.

❖ Análisis de precipitaciones

Para el análisis de precipitación en el área de estudio se derivaron las curvas sintéticas de Intensidad-Duración-Frecuencia IDF para la estación mencionada utilizando la metodología propuesta por Vargas y Díaz-Granados (1998), como función del promedio del valor máximo anual de precipitación diaria M, el promedio del número de días con lluvia al año N, la precipitación media anual PT y la región geográfica donde se encuentra localizada la estación.

La forma general de la ecuación para calcular la intensidad media I en mm/hr es la siguiente:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d N^e PT^f$$

Donde T es el período de retorno en años y t es la duración de la lluvia en horas, los valores a, b, c, d, e y f son parámetros que dependen del lugar en donde se encuentre ubicada el área de estudio, en la Tabla 13 se muestran los valores de las constantes.

Tabla 13. Parámetros para el cálculo de intensidad media.

Constantes						
Ecuación	a	b	c	d	e	f
11	1.61	0.19	0.65	0.75	-0.15	0.08

Fuente: Vargas y Díaz-Granados (1998)

De los datos procesados de la estación Campo Hermoso se tiene los valores de M, N, PT:

$$M = 474.70 \text{ mm}$$

$$N = 122.65 \text{ días}$$

$$PT = 7947.26 \text{ mm/año}$$

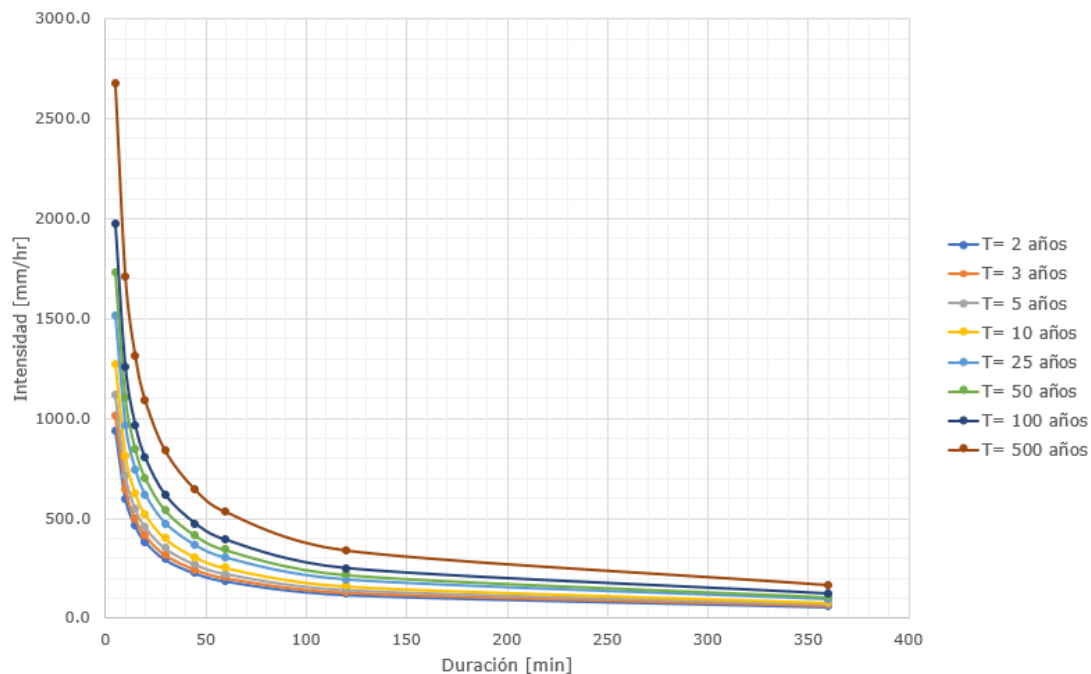
Los valores de intensidad de la lluvia en función del periodo de retorno y de la duración del evento se presentan en la Tabla 14. Las curvas sintéticas de Intensidad-Duración-Frecuencia IDF se determinan en función de estos valores.

Tabla 14. Intensidad en mm/hr, estación TONA-AUT.

Intensidad en mm/hr									
T Años	Duración en minutos								
	5	10	15	20	30	45	60	120	360
2	936.5	596.8	458.6	380.3	292.2	224.5	186.2	118.7	58.1
3	1011.5	644.6	495.3	410.8	315.6	242.5	201.1	128.2	62.8
5	1114.6	710.3	545.8	452.7	347.8	267.2	221.6	141.2	69.2
10	1271.5	810.3	622.6	516.4	396.8	304.8	252.8	161.1	78.9
25	1513.3	964.4	741.0	614.6	472.2	362.8	300.9	191.8	93.9
50	1726.3	1100.2	845.3	701.1	538.7	413.9	343.3	218.8	107.1
100	1969.3	1255.0	964.3	799.8	614.5	472.1	391.6	249.6	122.2
500	2673.8	1703.9	1309.2	1085.9	834.3	641.0	531.7	338.8	165.9

Fuente: Propia.

Imagen 4. Curva IDF intensidad (mm/hr) vs duración (min).



Fuente: Propia.

❖ Tiempo de concentración

La duración de la lluvia de diseño fue tomada como el tiempo de concentración, el cual estima el tiempo que tarda una gota de agua lluvia en llegar desde la zona más apartada de la cuenca hasta el punto de cierre. Varios autores han propuesto un valor para el tiempo de concentración de una cuenca tales como Kirpich, Ven T. Chow, Giandotti, Temez, entre otros, para este caso se tomó

como el tiempo de concentración el promedio de los tiempos calculados con cada una de las metodologías propuestas por los autores mencionados.

$$Tc = 0.066 * \frac{L^{0.77}}{J^{0.385}} \rightarrow Kirpich$$

$$Tc = 0.274 * \frac{L^{0.64}}{J^{0.32}} \rightarrow Ven T. Chow$$

$$Tc = \frac{(4A^{0.5} + 1.5L)}{25.3 * (LJ)^{0.5}} \rightarrow Giandotti$$

$$Tc = \frac{0.3L^{0.76}}{J^{0.19}} \rightarrow Temez$$

Dónde:

L: longitud total del cauce principal = 9.93 km.

J: Pendiente del cauce = 0.20 m/m.

Nota: el área de la cuenca es de 42.66 km².

Tabla 15. Tiempos de concentración para cada autor.

Autor	Tc (Hr)
Kirpich	0.72
Ven T. Chow	1.99
Giandotti	1.15
Temez	2.33
Promedio	1.55

Fuente: Propia.

La duración de la lluvia de diseño se consideró como el tiempo de concentración promedio de los valores calculados anteriormente, para el análisis realizado se consideró un tiempo de concentración de 1.55 horas.

A continuación, se muestran los cálculos tipo obtenidos para el caudal con tiempo de retorno de 100 años para el drenaje en estudio, para los demás tiempos de retorno se adjunta la tabla resumen con los datos obtenidos por los tres métodos contenidos en el presente informe.

Considerando un periodo de retorno de 100 años se tiene una intensidad igual a:

$$I = 295.10 \text{ (mm/Hr)}$$

❖ Coeficiente de escorrentía (c)

El coeficiente de escorrentía es un valor relevante y depende de numerosos factores tales como el tipo de precipitación, la cantidad de lluvia, la duración, la humedad inicial del suelo, el tipo de terreno, el tipo de cobertura vegetal, el tiempo considerado entre otros. Según Témez (1991) este valor puede ser determinado de la siguiente manera:

$$C = \frac{(Pd' - Po)(Pd' + 23 * Po)}{(Pd' + 11 * Po)^2}$$

Donde:

Pd' = Precipitación máxima diaria corregida.

Po = Umbral de escorrentía = $(5000/CN) - 50$.

CN = Número de curva.

❖ **Número de curva (CN)**

El método se basa en la definición de los parámetros de suelo, cobertura vegetal y humedad antecedente de una cuenca mediante un parámetro adimensional CN, llamado normalmente Número de Curva (en inglés, Curve Number) y depende de:

- ❖ Uso del suelo.
- ❖ Condición hidrológica del suelo: pobre, si los suelos están erosionado y buena si los suelos están protegidos con cobertura vegetal.
- ❖ Grupo hidrológico del suelo: los suelos pueden clasificarse de acuerdo con su capacidad de infiltración como:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depósitos por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelo poco profundos depositados por el viento, suelos franco-arenosos.

Grupo C: Suelos franco-arcillosos, franco arenoso poco profundos, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcillas.

Grupo D: suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

- ❖ Humedad antecedente: relacionada con la cantidad de lluvia caída en la cuenca durante los 5 días precedentes. Se definen 3 grupos de humedad antecedente:

AMC I para suelos secos

AMC II para suelos intermedios

AMC III para suelos húmedos

Los métodos establecidos normalmente están en función para la condición II, es decir, para una humedad intermedia, las condiciones secas I y húmedas III pueden ser determinadas en función de la condición II de la siguiente manera.

$$CN(I) = \frac{4.2 * CN(II)}{10 - 0.058 * CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 - 0.13 * CN(II)}$$

Se asumieron condiciones para suelos intermedios debido a las limitaciones que se tenían en cuanto a la información. Los valores normales (Condición de humedad II) para diferentes suelos y coberturas se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Valores de numero de curva en función del uso y del grupo hidrológico.

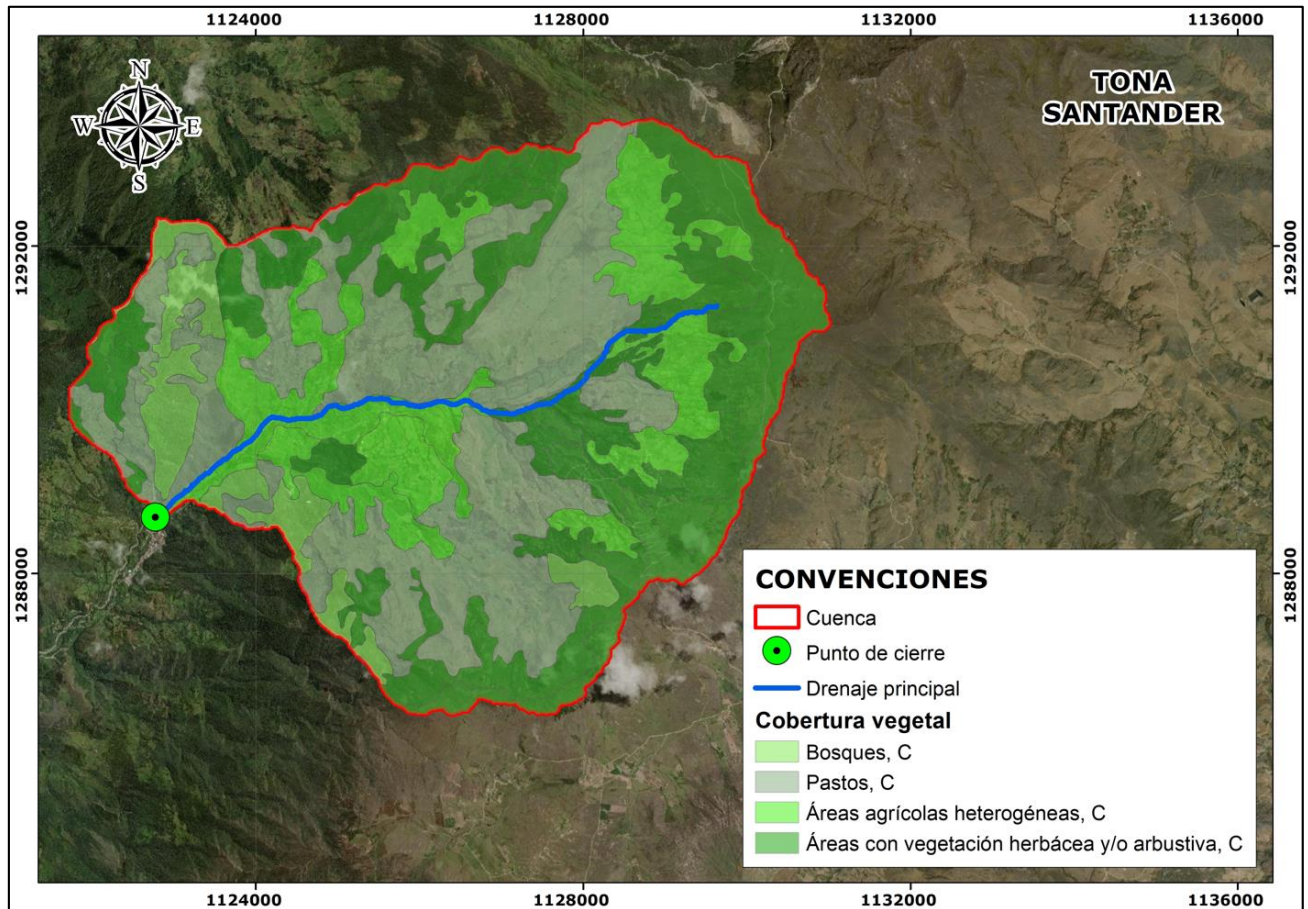
Uso del Suelo		Grupo Hidrológico del Suelo			
		II	III	IV	V
Tierras cultivadas	con tratamiento de conservación	72	81	88	91
	sin tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condición pobre	68	79	86	89
	Condición buena	39	61	74	80
Praderas		30	58	71	78
Bosques	Cubierta pobre	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Espacios abiertos: con césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Buena condición: cubierta de pastos sobre más del 75% del área	39	61	74	80
	Condición aceptable: cubierta de pastos sobre el 50% a 75% del área	49	69	79	84
Áreas comerciales y de tiendas (85% impermeable)		89	92	94	95
Zona industriales (75% impermeable)		81	88	91	93
Zonas Residenciales	Tamaño medio de la parcela (m ²)	Promedio de % impermeable			
	500	65	77	85	90
	1000	38	61	75	83
	1350	30	57	72	81
	2000	25	54	70	80
	4000	20	51	68	79
Tejados, parkings, superficies impermeables en general		98	98	98	98
Calles y carreteras	Pavimentadas, con bordillos y bocas de tormenta	98	98	98	98
	De grava	76	85	89	91
	De tierra	72	82	87	89

Fuente: Hidrología aplicada Vente Chow, David Maidment, Larry Mays.

Se realizó una clasificación no supervisada con base en la información cartográfica de Cobertura de la tierra de Colombia (Adaptación Corine Land Cover, IGAC, 2018), se definió el grupo hidrológico y el uso de suelo

determinando así el valor del Número de Curva a lo largo de la cuenca hidrológica en estudio (Ver Imagen 5).

Imagen 5. Número de curva cuenca hidrográfica.



Fuente: Propia.

El valor de número de curva CN para una condición de humedad intermedia se determinó como:

$$CN(II) = \frac{\sum A_i * CN_i}{\sum \text{Áreas}} = \frac{3179621085.4}{42664540.6} = 74.53$$

❖ Precipitación máxima diaria corregida sobre la cuenca

Para tener en cuenta la no uniformidad espacial de la lluvia, hay que afectarla por un coeficiente de reducción de área si la superficie de la cuenca es mayor de 1 km². Este coeficiente tiene por expresión:

$$K_A = 1 - \frac{\text{Log}_{10}(A)}{15}$$

Donde A es el área de la cuenca en Km², para el caso de estudio la cuenca cuenta con 42.66 km², por lo tanto

$$KA=0.89$$

Ya calculado el valor de lluvia máxima diaria mediante las proyecciones estadísticas para cada periodo de retorno se realiza la corrección de la precipitación con respecto al coeficiente Ka.

$$Pd' = Pd * KA$$

Considerando un periodo de retorno de 100 años y una distribución normal se tiene que la precipitación máxima corregida sobre la cuenca es:

$$Pd' = 1139.99 * 0.89 = 1016.10 \text{ mm}$$

❖ Umbral de escorrentía

El umbral de escorrentía se determina teniendo en cuenta el valor del número de curva CN como:

$$P_o = \frac{5000}{CN} - 50 = \frac{5000}{74.53} - 50 = 17.09$$

❖ Coeficiente de escorrentía

Así el coeficiente de escorrentía se determina como:

$$C = \frac{(Pd' - P_o)(Pd' + 23 * P_o)}{(Pd' + 11 * P_o)^2} = \frac{(1016.10 - 17.09)(1016.10 + 23 * 17.09)}{(1016.10 + 11 * 17.09)^2} = 0.97$$

❖ Caudal de diseño (M.R.)

Determinada la intensidad de la lluvia para los diferentes periodos de retorno y el coeficiente de escorrentía, se determinó cual sería el caudal del afluente. Se encontró que la incertidumbre en el caudal calculado era muy grande saliéndose de las tres desviaciones estándar de los datos, normalmente esto sucede en cuencas con un área considerable para las cuales este método no es muy representativo.

$$Q = CIA$$

$$Q(Tr100) = 3395.96 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

1.3.2 Método racional Modificado (M.R.M.).

Para la conversión de la lluvia en escorrentía hemos empleado el Método Racional Modificado del Prof. D. José Ramón Témez (1991) del Centro de Estudios Hidrográficos. La metodología de Témez se basa en el método racional, aplicable a pequeñas cuencas, pero con una serie de modificaciones que amplían su rango de validez hasta los 3000 km². Este método supone que el caudal máximo es el generado por la lluvia de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.

$$Q=0.278 CIAK$$

Donde:

Q = caudal pico en m³/s.

C = coeficiente de escorrentía.

I = intensidad de la tormenta de diseño en mm/h.

A = superficie de la cuenca en km².

K = coeficiente de uniformidad.

❖ Tormenta de diseño

La curva intensidad-duración-frecuencia se representa mediante la siguiente expresión:

$$I = \left(\frac{Pd'}{24} \right) * (11)^{\frac{28^{0.1} - Tc^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Donde P es la precipitación máxima corregida calculada anteriormente y Tc es el tiempo de concentración propuesto por Témez (2.33 Hr)

$$I(Tr100) = \left(\frac{1016.10}{24} \right) * (11)^{\frac{28^{0.1} - 2.33^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} = 272.80 \text{ mm/h}$$

❖ Coeficiente de uniformidad

Este valor viene dado por la siguiente ecuación:

$$K = 1 + \left(\frac{Tc^{1.25}}{Tc^{1.25} + 14} \right)$$

Dónde: Tc= Tiempo de concentración.

$$K = 1 + \left(\frac{2.33^{1.25}}{2.33^{1.25} + 14} \right)$$

$$K = 1.17$$

❖ Caudal de diseño (M.R.M.)

Ya determinada la intensidad de la tormenta, el coeficiente de uniformidad y con base en el coeficiente de escorrentía se calculó el caudal pico.

$$Q = 0.278 CIAK$$

$$Q(Tr100) = 3677.25 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

1.3.3 Método del U.S. Soil Conservation Service (U.S.S.C.S)

Para estimar estos caudales, se empleó el método del U.S Soil Conservation Service, el cual estima la escorrentía producida por una tormenta en una cuenca, con base en la relación que existe entre humedad antecedente del terreno y el complejo suelo (cobertura vegetal), el cual es de amplio uso en nuestro medio.

$$Qp = 0.208 \left(\frac{AE}{Tp} \right)$$

Donde:

E = Ecurrimiento, en mm.

Tp = Tiempo al pico.

❖ Ecurrimiento y pérdidas por infiltración

Las pérdidas por infiltración se calcularon mediante la relación precipitación-escurrecimiento propuesta por el U.S. Soil Conservation Service. Esta ecuación está expresada en función del tipo de suelo y de la cobertura vegetal de la cuenca. La distribución de pérdidas en el hietograma se llevó a cabo utilizando la relación precipitación-escurrecimiento propuesta por el S.C.S., definida de la siguiente forma:

$$E = \frac{\left[P - 5.08 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \right]^2}{P + 20.32 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)}$$

Donde:

E = Ecurrimiento, en mm.

P = Precipitación, en mm.

CN=Curva Numero.

$$E(Tr100) = \frac{\left[1139.99 - 5.08\left(\frac{1000}{74.53} - 10\right)\right]^2}{1139.99 + 20.32\left(\frac{1000}{74.53} - 10\right)}$$

$$E = 1042.04 \text{ mm}$$

❖ Hidrograma de creciente

Se realizó el cálculo del hidrograma de crecientes para diferentes períodos de retorno utilizando el hidrograma unitario triangular desarrollado por el U.S. S.C.S. A partir de la forma de este hidrograma unitario se obtienen varias relaciones obtenidas de las características geomorfológicas de la cuenca, las cuales se describen a continuación.

❖ Tiempo al pico (Tp)

Es el tiempo que transcurre desde que se inicia el escurrimiento directo hasta el pico del hidrograma. Y se define como:

$$Tp = \frac{De}{2} + 0.6 * Tc$$

Donde:

De= Duración de la escorrentía o exceso de precipitación, en horas.

Tc= Tiempo de concentración, en horas.

El término $0.6Tc$ es un factor empírico adoptado por el S.C.S., representativo del tiempo de retraso Tr , que se define como el tiempo en horas desde el punto medio de la escorrentía unitaria hasta el pico.

La duración en exceso con la que se produce el caudal pico puede determinarse, como $De = Tc$. Además, Tc no tiene en cuenta un tiempo de concentración específico por lo que se consideró el promedio de los métodos mencionados con anterioridad

$$Tp = \frac{1.55}{2} + 0.6 * 1.55 = 1.70 \text{ Hr}$$

❖ Tiempo base (Tb)

Es el intervalo comprendido entre el comienzo y el fin del escurrimiento directo, se expresa como:

$$Tb = \frac{8}{3} Tp$$

$$Tb = \frac{8}{3} * 1.70 = 4.53 \text{ Hr}$$

En la mayoría de los casos, para propósitos prácticos es suficiente con las características del hidrograma unitario triangular. Sin embargo, en ocasiones la curva de recesión puede generar inconvenientes, por lo que es recomendable utilizar un hidrograma curvilíneo para análisis más detallados.

❖ Caudal de diseño

Ya descrita la metodología del U.S. Soil Conservation Service (U.S. S.C.S) descrita anteriormente, se determinó cuál sería el caudal máximo o el caudal al tiempo Pico (Q_p) llegando así a:

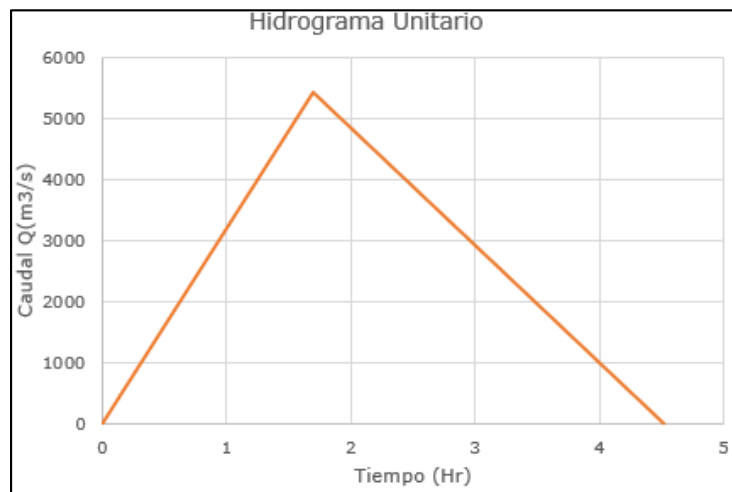
$$Q_p = 0.208 \frac{A * E}{T_p}$$

$$Q_p (Tr100) = 5440.13 \text{ m}^3/\text{s}$$

❖ Hidrograma Triangular

Teniendo en cuenta el tiempo al pico, el tiempo base y el caudal pico se realizó el hidrograma triangular como se observa en la siguiente imagen.

Imagen 6. Hidrograma unitario triangular.



Fuente: Propia.

1.3.4 Resultados Finales

Se compararon cada uno de los caudales obtenidos por los tres métodos establecidos (Racional, racional modificado y U.S.S.C.S) y con base a reseñas

históricas, experiencia y criterio, se determinó cuál es el valor del caudal indicado para la modelación hidráulica. En este caso fue considerado el valor obtenido mediante promedio de los datos, descartando aquellos valores fuera de \pm una desviación estándar.

Tabla 17. Caudales de diseño para el cauce principal (m³/s).

METODO RACIONAL MODIFICADO (m³/s)					
Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100	Tr=500
2229.91	2660.85	3118.31	3412.86	3677.25	4211.09

METODO SOIL					
Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100	Tr=500
3241.01	3890.91	4585.78	5035.37	5440.13	6260.24

RACIONAL					
Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100	Tr=500
1857.35	2150.13	2586.44	2965.69	3395.96	4638.02

Fuente: Propia.

Tabla 18. Caudales seleccionados para el cauce principal (m³/s).

PROMEDIO (m³/s)					
Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100	Tr=500
2442.76	2900.63	3430.18	3804.64	4171.11	5036.45

Fuente: Propia.

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS HIDRÁULICO

Teniendo en cuenta que el modelamiento hidráulico de un cauce de un río o canal maneja un cierto grado de incertidumbre, debido a las condiciones estocásticas que esté presenta. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos desarrolló el software HEC-RAS, el cual permite realizar cálculos hidráulicos unidimensionales considerando un flujo constante o variable de un río o canal, así como transporte de sedimentos y análisis de la temperatura del agua. Teniendo en cuenta su versatilidad y su amplia utilización a nivel mundial y su asequibilidad, se realizaron los modelos en base a este software americano.

Los fundamentos matemáticos y físicos que tiene en cuenta los modelos en HEC-RAS son variados y complejos en algunas ocasiones, para el caso del análisis de un cauce de un río o canal se tiene en cuenta las siguientes relaciones.

2.1 ECUACIÓN PARA EL CÁLCULO DE PERFILES BÁSICO

Está basado en la solución de la ecuación de energía con un método iterativo llamado método de paso estándar. La ecuación de energía establece las siguientes relaciones entre dos secciones transversales:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2g} + h_e$$

Dónde: Z_1, Z_2 = elevación del canal con respecto al nivel de referencia.
 V_1, V_2 = Velocidad promedio (Descarga total / área de flujo).

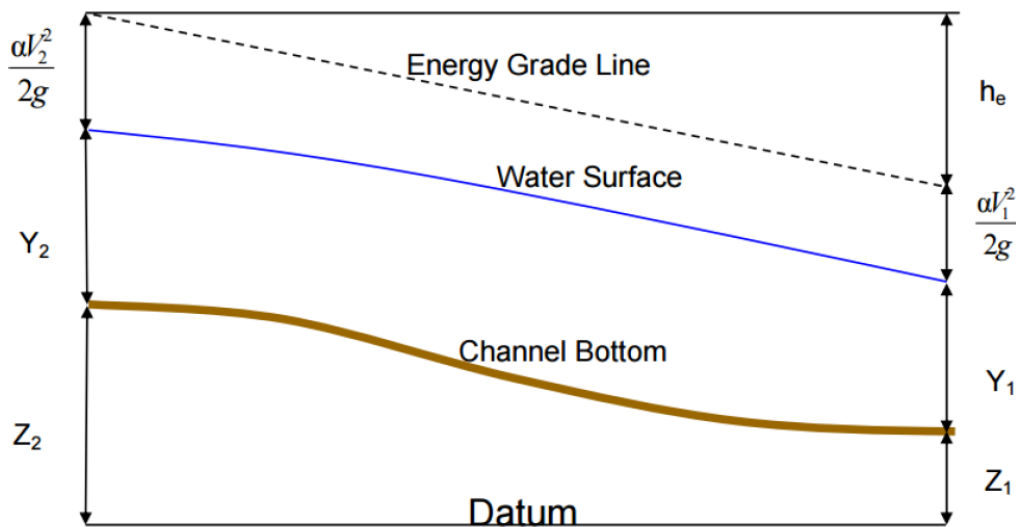
α_1, α_2 = Coeficiente de velocidad.

g = Aceleración gravitacional.

h_e = Perdida de la cabeza de energía.

En la Imagen 7 se presenta un diagrama con los términos anteriormente mencionados.

Imagen 7. Representación de la ecuación de la energía.



Fuente: E.D. HEC-RAS 6.2. Hydraulic Reference Manual

El cálculo del transporte de agua a través de una sección transversal es determinado con base a la ecuación universal del Manning, la cual establece la relación entre el gasto y las propiedades físicas del cauce. HEC-RAS subdivide el flujo en zonas de desbordamiento y zonas del cauce general (ver Imagen 8) determinando así la posibilidad de la crecida de un río.

El transporte de cada una de las divisiones es determinado con base a las siguientes expresiones.

$$Q = \frac{1.486}{n} * AR^{2/3} * S_f^{1/2}$$

Donde:

n = Coeficiente de rugosidad del canal.

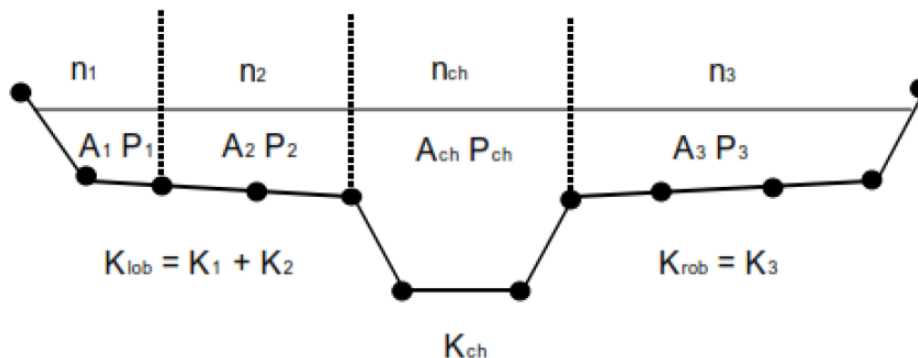
A = Área mojada de la subdivisión.

R = Radio hidráulico de la subdivisión (Área mojada/Perímetro mojado).

g = Aceleración gravitacional.

h_e = Perdida de la cabeza de energía.

Imagen 8. Método de subdivisión del cauce en HEC-RAS.



Fuente: E.D. HEC-RAS 6.2. Hydraulic Reference Manual

Existen algunas limitaciones e hipótesis en el modelamiento hidráulico realizado en HEC-RAS tales como:

El cauce natural se asimila a un cauce artificial, en la medida en que el modelo no simula procesos de socavación o deposición de fondo o lateral.

Se considera un flujo unidimensional, es decir, los componentes de la velocidad en direcciones diferentes a la del flujo no se contabilizan.

Se considera pendientes en canales bajas, es decir, menores a 1:10.

El flujo en los ríos es de tipo no permanente, la suposición de flujo permanente implícita en el modelo seleccionado no altera los resultados de niveles máximos esperados.

La pendiente de fondo en ocasiones no es uniforme, existen rápidos y fosas, barreras y obstáculos, los cuales no son simulados por el modelo.

2.2 CALIBRACIÓN DEL MODELO

La calibración del modelo es un proceso de verificación de su adaptabilidad o capacidad de reproducir el fenómeno natural estudiado, para realizarla se utiliza información de campo como lo son niveles, caudales y granulometría del lecho, con el fin de establecer el parámetro de rugosidad n del lecho de los cauces involucrados en cada uno de los modelos hidráulicos.

❖ Coeficiente de rugosidad de Manning

El valor del coeficiente de rugosidad del río en estudio será estimado con base en el reconocimiento visual de campo y la utilización de tablas con valores normales del coeficiente de Manning y con base en la fórmula presentada por Ven Te Chow en Open Channel Hydraulic, la cual se muestra a continuación:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

En donde:

n_b : Factor que depende del material del fondo del cauce.

n_1 : Factor que depende de la irregularidad del fondo.

n_2 : Factor que depende del cambio de las secciones transversales.

n_3 : Factor que depende de las obstrucciones o grandes bloques en el cauce.

n_4 : Factor que depende de la vegetación en el cauce.

m : Factor que depende de los meandros.

En la siguiente tabla se presentan los valores recomendados según adaptaciones propias mencionadas en Gavilán:

Tabla 19. Valores recomendados para el cálculo del coeficiente de Manning.

Factor	Descripción del factor	Valor recomendado
Material del fondo del cauce (n_b)	Suelo fino	0.020
	Roca	0.025
	Arena o grava	0.024
	Grava gruesa	0.028
Irregularidad del fondo(n_1)	No hay irregularidades	0.000
	Irregularidad menor	0.005
	Irregularidad moderada	0.010
	Irregularidad severa	0.020
Cambio de secciones transversales (n_2)	Gradual	0.000
	Altamente ocasional	0.005
	Frecuentemente alterna	0.010
	Muy frecuentemente alterna	0.015
Obstrucciones o grandes bloques en el cauce (n_3)	Despreciables	0.001
	Menores	0.012
	Apreciables	0.025
	Severos	0.050
Vegetación en el cauce (n_4)	Baja	0.007
	Media	0.017
	Alta	0.037
	Muy alta	0.075
Meandros (m)	Menores	1.000
	Apreciables	1.150
	Severos	1.300

Fuente: Propia. (Modificación Cowan, 1956).

El valor del número de Manning se determinó teniendo en cuenta la inspección de campo, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 20. Coeficiente de Manning de fondo del cauce.

Factor	Descripción del factor	Valor recomendado
Material del fondo	Arena o grava	0.024
Irregularidad del fondo	Irregularidad moderada	0.010
Cambio de secciones	Gradual	0.000
Obstrucciones	Menores	0.012
Vegetación	Baja	0.007
Meandros	Apreciables	1.150
Coeficiente Manning		0.061

Fuente: Propia.

Tabla 21. Coeficiente de Manning lateral del cauce.

Factor	Descripción del factor	Valor recomendado
Material lateral del cauce	Arena o grava	0.024
Irregularidad lateral	Irregularidad menor	0.005
Cambio de secciones	Gradual	0.000
Obstrucciones	Menores	0.012
Vegetación lateral	Baja	0.007
Meandros	Apreciables	1.150
Coeficiente Manning		0.055

Fuente: Propia.

2.3 CAUDALES DE DISEÑO

Los modelos se realizaron teniendo en cuenta los caudales determinados mediante el análisis hidrológico presentado anteriormente.

Tabla 22. Caudales de diseño en el modelamiento de HEC-RAS.

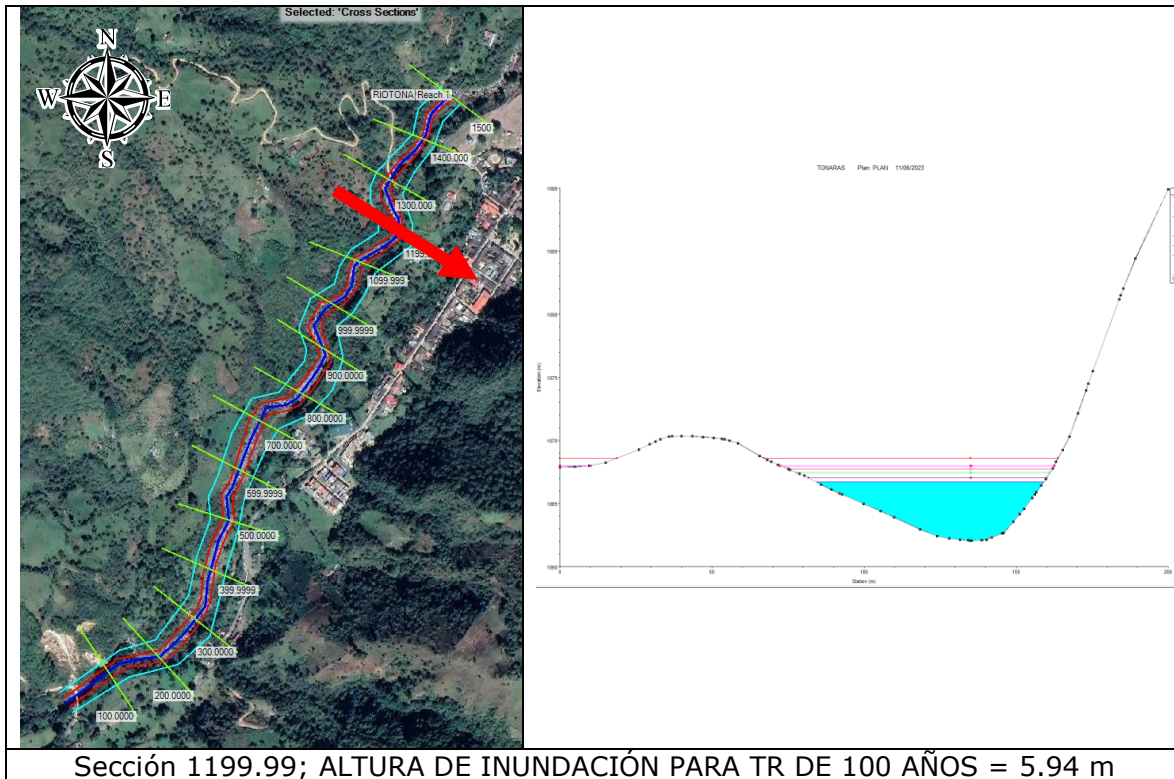
PROMEDIO (m3/s)					
Tr=5	Tr=10	Tr=20	Tr=50	Tr=100	Tr=500
2442.76	2900.63	3430.18	3804.64	4171.11	5036.45

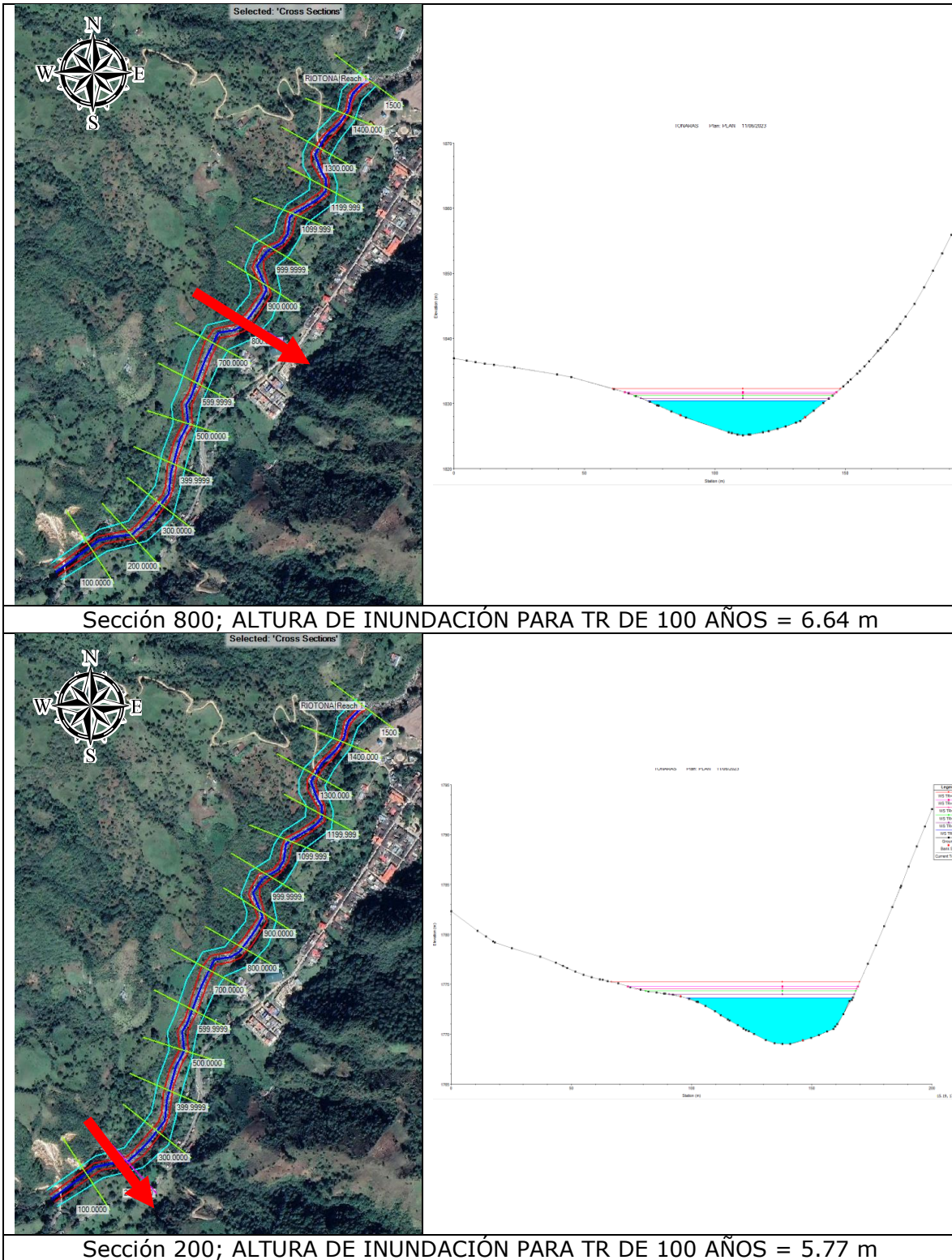
Fuente: Propia.

2.4 EVALUACIÓN HIDRÁULICA

Se desarrolló el modelo hidráulico del cauce principal, teniendo en cuenta las secciones transversales trazadas aguas abajo y aguas arriba del sitio de estudio, en condiciones de flujo permanente, con coeficientes de Manning definidos del análisis de cobertura vegetal y los suelos identificados en la zona, bajo un régimen de flujo mixto. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del modelo hidráulico realizado.

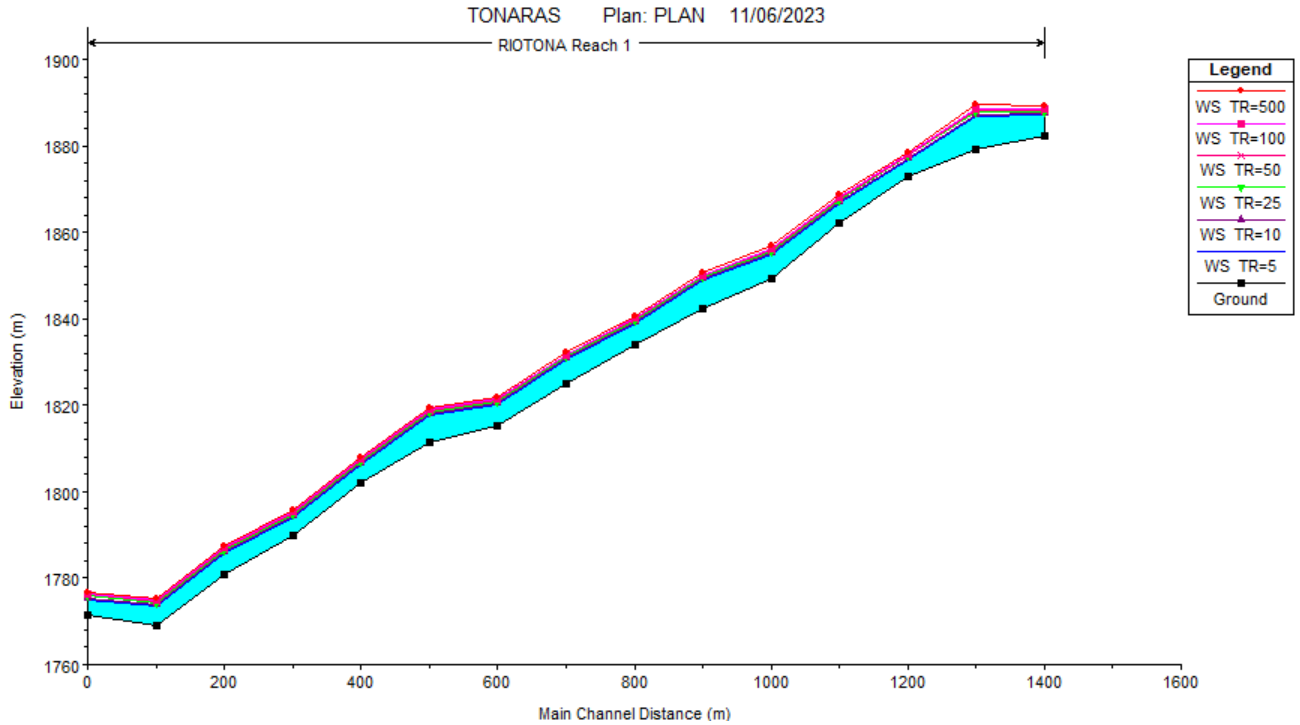
Imagen 9. Altura de inundación para los periodos de retorno.





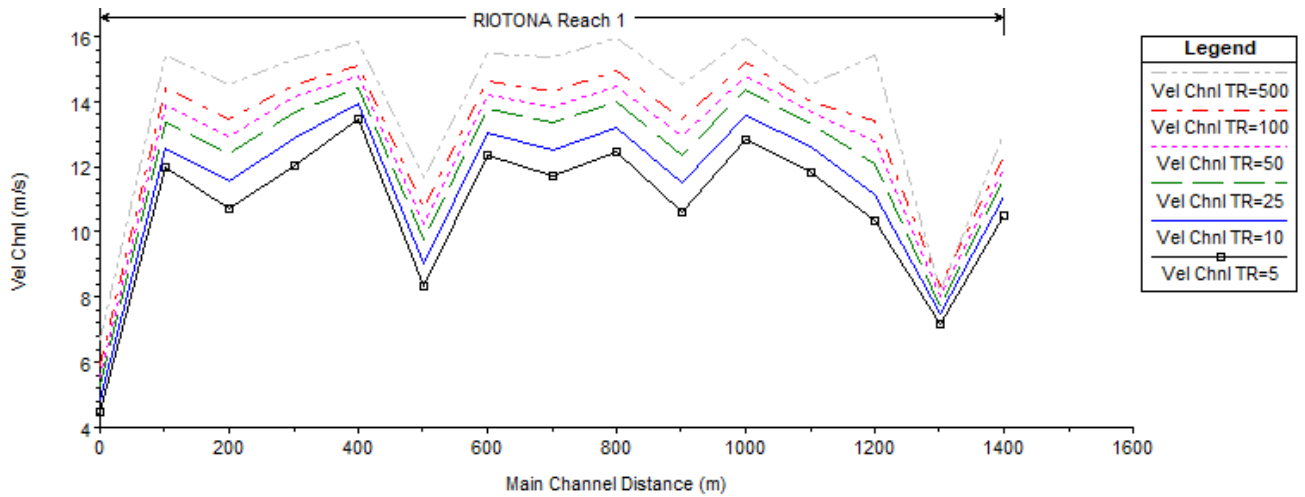
Fuente: HEC-RAS 6.2.

Imagen 10. Perfil longitudinal del modelo.



Fuente: HEC-RAS 6.2.

Imagen 11. Distribuciones de velocidades.



Fuente: HEC-RAS 6.2.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del modelo hidráulico para la sección transversal 1199.99:

Tabla 23. Resultados sección transversal 1199.99, $T_r=100$ Años.

Plan: PLAN1 RIOTONA Reach 1 RS: 1199.999 Profile: TR=100					
E.G. Elev (m)	1877.24	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	9.23	Wt. n-Val.	0.055	0.061	0.055
W.S. Elev (m)	1868.01	Reach Len. (m)	91.90	100.00	101.10
Crit W.S. (m)	1871.02	Flow Area (m ²)	21.55	230.40	68.15
E.G. Slope (m/m)	0.095658	Area (m ²)	21.55	230.40	68.15
Q Total (m ³ /s)	4171.11	Flow (m ³ /s)	121.46	3217.95	831.71
Top Width (m)	100.33	Top Width (m)	29.67	50.20	20.46
Vel Total (m/s)	13.03	Avg. Vel. (m/s)	5.63	13.97	12.20
Max Chl Dpth (m)	5.94	Hydr. Depth (m)	0.73	4.59	3.33
Conv. Total (m ³ /s)	13486.2	Conv. (m ³ /s)	392.7	10404.4	2689.1
Length Wtd. (m)	99.85	Wetted Per. (m)	29.91	50.39	21.32
Min Ch El (m)	1862.07	Shear (N/m ²)	676.09	4288.90	2998.82
Alpha	1.07	Stream Power (N/m s)	3809.73	59903.34	36595.35
Frctn Loss (m)	9.35	Cum Volume (1000 m ³)	48.16	288.35	29.17
C & E Loss (m)	0.22	Cum SA (1000 m ²)	23.39	59.17	14.86

Fuente: HEC-RAS 6.2.

Como se puede observar en los resultados de la modelación hidráulica realizada en HEC-RAS, para los caudales esperados en los diferentes periodos de retorno, se obtienen resultados de profundidad de flujo, velocidades, entre otras variables.