



Identificación de zonas de amenaza por avenida torrencial mediante uso de SIG y metodología SAATY, Unidad Subsiguiente río Tona, Santander, como aporte al ordenamiento territorial, 2023

Modalidad: Proyecto de Investigación

Brayan David Arrieta Flórez.
CC 1005154334
Jonathan Ferney Bernal Jaimes
CC 1234340316
Henry Pérez Pérez
CC 1005063040

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERIA EN TOPOGRAFIA
BUCARAMANGA 22 DE MARZO 2024**



Identificación de zonas de amenaza por avenida torrencial mediante uso de SIG y metodología SAATY, Unidad Subsiguiente río Tona, Santander, como aporte al ordenamiento territorial, 2023

Modalidad: Proyecto de Investigación

Brayan David Arrieta Flores.
CC 1005154334
Jonathan Ferney Bernal Jaimes
CC 1234340316
Henry Pérez Pérez
CC 1005063040

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero topógrafo

DIRECTOR

Clara Inés Torres Vásquez

Grupo de investigación – GRIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERIA EN TOPOGRAFIA
BUCARAMANGA 22 DE MARZO DE 2024**

Nota de Aceptación

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

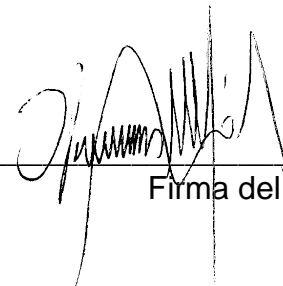
Ingeniero Topógrafo

Según acta #6 del Comité de Proyectos de Grado

Del 15-03-2024

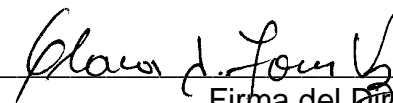
Docente evaluador: M.Sc. Clara Inés Torres Vázquez

Docente director: Ing. Germán Alberto Suárez Arias



Firma del Evaluador

Scanned by CamScanner



Firma del Director

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto de grado a mis padres, fuente inagotable de apoyo, sabiduría y amor. Su constante aliento ha sido la luz que guio cada paso en este viaje académico. También quiero expresar mi profundo agradecimiento a los profesores, cuya dedicación y enseñanzas han sido el cimiento sobre el cual construí este trabajo. Su inspiración y orientación han sido fundamentales para mi crecimiento académico y personal. A ambos, padres y profesores, les debo el logro de este sueño, y esta dedicación es un humilde reconocimiento a su invaluable contribución en mi camino hacia el conocimiento y la realización personal.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos sinceramente a los profesores de la carrera de Ingeniería en Topografía de las Unidades Tecnológicas de Santander, cuya dedicación y conocimientos han sido pilares fundamentales en mi formación académica. En especial, quiero expresar mi profundo agradecimiento a la profesora Clara Inés Torres Vásquez, directora de este proyecto de grado. Su liderazgo, orientación y apoyo constante han sido esenciales para alcanzar cada hito en esta travesía académica. Su compromiso con la excelencia y su pasión por la topografía han sido fuentes inagotables de inspiración. A todos los profesores, gracias por compartir su sabiduría y moldear el camino hacia el éxito en mi carrera.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2. JUSTIFICACIÓN	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. ESTADO DEL ARTE	16
2. MARCO REFERENCIAL	24
2.1. MARCO TEORICO.....	24
2.2. MARCO LEGAL	26
2.3. MARCO CONCEPTUAL	28
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	29
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	31
4.1. FASE 1.....	31
4.1.1. UBICACIÓN GENERAL Y CARACTERÍSTICAS DE LA SUBCUENCA DEL RIO TONA	31
4.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO TONA	35
4.1.3. GEOMORFOLOGÍA.....	36
4.1.4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	37
4.1.5. METODO DE SAATY	40
4.2. FASE 2.....	42
4.2.1. MAPA DE PENDIENTES Y DE SOMBRAS.....	42
4.2.2. RECLASIFICACIÓN	45
4.2.3. BITEMPORALIDAD	47
4.2.4. GEOMORFOLOGÍA.....	49
4.3. FASE 3.....	50
4.3.1. ESTADISTICA Y METODO DE SAATY.....	50
4.3.2. INTERPRETACIÓN DE COBERTURAS Y BITEMPORALIDAD	61

4.3.3.	IDENTIFICACIÓN DE ZONAS AFECTADAS POR AVENIDA TORRENCIAL.....	64
5.	<u>RESULTADOS.....</u>	67
5.1.	MAPA DE PENDIENTES	67
5.2.	MAPA DE SOMBRAS	68
5.3.	MAPA DE COBERTURAS.....	69
5.4.	MAPA DE BITEMPORALIDAD	70
5.5.	MAPA DE DRENAJE	71
5.6.	MAPA DE ALTURAS	72
5.7.	MAPA DE PENDIENTES METODOLOGIA SAATY	73
5.8.	MAPA DE GEOMORFOLOGIA METODOLOGIA SAATY	74
5.9.	MAPA DE COBERTURA METODOLOGIA SAATY	75
5.1.	FACTOR DESENCADENANTE DE AVENIDAS TORRENCIALES	76
5.1.1.	PRECIPITACIONES	76
5.2.	MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD METODOLOGIA SAATY.....	77
6.	<u>CONCLUSIONES.....</u>	80
7.	<u>RECOMENDACIONES</u>	81
8.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	83

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Diseño de la investigación	30
FIGURA 2 Mapa de ubicación	32
FIGURA 3 Veredas de la cuenca del Río Tona.....	34
FIGURA 4 Cuenca media y baja del Río Tona.....	35
FIGURA 5 Mapa geomorfológico.....	37
FIGURA 6 Plataforma de descarga de imágenes satelitales - Sentinel	38
FIGURA 7 Plataforma de descarga de imágenes satelitales – Alos Palsar	39
FIGURA 8 Plataforma análisis de cobertura	40
FIGURA 9 Análisis de cobertura.....	41
FIGURA 10 Herramienta Slope (Pendientes).....	42
FIGURA 11 Resultado de la herramienta Slope.....	43
FIGURA 12 Herramienta Hillshade (Mapa de Sombras)	44
FIGURA 13 Resultado de la herramienta Hillshade para mapa de sombras	45
FIGURA 14 Herramienta Reclassify	46
FIGURA 15 Reclasificación de las pendientes.....	46
FIGURA 16 Simbología final a la reclasificación	47
FIGURA 17 Coberturas de la zona de estudio	48
FIGURA 18 Bitemporalidad.....	49
FIGURA 19 Geomorfología zona de estudio.....	50
FIGURA 20 Mapa de pendientes Saaty	54
FIGURA 21 Porcentaje cobertura 2017.....	62
FIGURA 22 Porcentaje cobertura 2020.....	63
FIGURA 23 Drenajes y cambios de cobertura	66
FIGURA 24 Mapa de pendientes.....	67
FIGURA 25 Mapa de sombras.....	68
FIGURA 26 Mapa de coberturas	69
FIGURA 27 Mapa de Bitemporalidad	70
FIGURA 28 Mapa de Drenajes	71
FIGURA 29 Mapa de Altura	73
FIGURA 30 Mapa de pendiente metodología saaty.....	74
FIGURA 31 Mapa de geomorfología metodología saaty	75
FIGURA 32 Mapa cobertura metodología saaty	76
FIGURA 33 Mapa susceptibilidad por avenidas torrenciales metodología saaty.....	78

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 Veredas de la cuenca del Río Tona	33
TABLA 2 Criterios de reclasificación	45
TABLA 3 Tabla de Frecuencia Altitud	51
TABLA 4 Tabla de Frecuencia Pendiente.....	51
TABLA 5 Criterios de reclasificación	52
TABLA 6 Factores condicionantes	55
TABLA 7 Factores condicionantes	56
TABLA 8 Factores condicionantes	57
TABLA 9 Matriz de Saaty del parámetro Pendiente	58
TABLA 10 Matriz de Saaty del parámetro geomorfología	59
TABLA 11 Matriz de saaty del parámetro cobertura.....	60
TABLA 11 Matriz de saaty del parámetro precipitaciones.....	61
TABLA 12 Áreas de cobertura	62
TABLA 13 Bitemporalidad	63
TABLA 11 Matriz de saaty del parámetro precipitaciones.....	77

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio aborda la problemática de la identificación de zonas de amenaza por avenida torrencial en la cuenca media y baja del río Tona, ubicada en el departamento de Santander, con el propósito de contribuir al ordenamiento territorial de dicha cuenca, del mismo modo, se emplea la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta fundamental para analizar y mapear las áreas susceptibles a eventos de avenidas torrenciales.

Para la ejecución de la investigación se plantearon los objetivos indispensables para dar cumplimiento y con los cuales se pudo hacer un estudio de manera sistemática permitiendo llegar al alcance del proyecto.

La presente investigación se planteó en tres fases: en la primera fase, se lleva a cabo una revisión y corrección de los datos necesarios para su posterior procesamiento; la segunda fase involucra el procesamiento de variables a través de un sistema de información geográfica y aplicación de la metodología Saaty, para evaluación de zonas y escenarios de riesgo por avenida torrencial, identificando tres principales factores desencadenantes como son la pendiente, la geomorfología y la cobertura, finalmente, la tercera fase se centra en la generación de cartografía.

Se identificaron las áreas propensión con mayor riesgo a eventos de avenidas torrenciales, además de la elaboración de mapas, que funciona como una representación gráfica de los productos finales, proporciona información clave para el diseño de estrategias de mitigación y planificación del uso del suelo en la cuenca por las entidades correspondientes.

La investigación se concluye presentado las zonas de mayor susceptibilidad a amenaza por avenidas torrenciales en la cuenca media y baja del río Tona, resultados obtenidos mediante Uso de los SIG, información existente, teledetección y cartografía.

PALABRAS CLAVE. Avenida torrencial, sistemas de información geográfica, análisis espacial, riesgo geológico y gestión del riesgo.

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que se compone de una gran variedad de aspectos ambientales en su geología, geomorfología, hidrología y también en aspectos climáticos, esto se puede expresar como un conjunto de fenómenos que están presentes en el territorio y juegan un papel de posible amenaza para el desarrollo social y económico del país. La posición geográfica de Colombia en la parte noroccidental de Suramérica, con un área de 1'141.748 km², donde el 35% del territorio nacional se ubica principalmente en la cordillera de los andes, cabe señalar que esta área constituye un sistema montañoso complejo que atraviesa el país de sur a norte, siendo propenso a una significativa actividad sísmica y volcánica (ambiente, 2021).

La gestión efectiva de los riesgos naturales se ha convertido en una prioridad esencial para las comunidades que habitan en áreas propensas a fenómenos hidroclimáticos extremos. En este contexto, la identificación y comprensión de las zonas de amenaza por avenidas torrenciales se rige como una tarea fundamental en el marco del ordenamiento territorial. Este estudio, se enfoca principalmente en la cuenca media y baja del río Tona, ubicada en el departamento de Santander, con el propósito de contribuir al desarrollo de estrategias de gestión del riesgo y ordenamiento del territorio (Ana Campos G., 2012)

En la región Andina se presenta una distribución bimodal con lluvias intensas y frecuentes, dichas condiciones climáticas impactan el régimen de precipitaciones, dando lugar a eventos hidrometeorológicos como inundaciones, avenidas torrenciales, sequías y movimientos en masa, entre otros (Mundial, 2012).

Este estudio tiene como objetivo principal analizar las áreas de mayor susceptibilidad a amenaza por avenidas torrenciales en la cuenca media y baja del río Tona mediante el empleo de tecnologías SIG y metodología Saaty, considerando factores desencadenantes como son la pendiente, la geomorfología y la cobertura vegetal en la zona de estudio. De igual manera, se identifica la precipitación como el factor condicionante de las avenidas torrenciales, para ello se estima bajo los valores de umbral determinado por el IDEAM en Colombia. Los resultados obtenidos se proponen como un valioso aporte al proceso de ordenamiento territorial de la cuenca, proporcionando información detallada y actualizada que facilite la toma de decisiones informadas por parte de autoridades locales, planificadores urbanos y comunidades afectadas.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo y Cambio Climático las avenidas torrenciales es una clase de riesgo que tiene una influencia principal en los territorios ubicados geográficamente en una cuenca alta con características de alta pendiente. Estas principalmente se presentan debido a que las zonas son propensas a gran cantidad de precipitaciones que ocasionan crecidas repentinas y aumento en los caudales de las fuentes hídricas de la cuenca. Debido a diferentes factores como las lluvias constantes, pendientes altas, la pérdida de la cobertura vegetal, represamiento de agua, acumulación de lodo y otros materiales adyacentes en los cuerpos de agua, son básicamente algunas de las causas que hacen que se presente este fenómeno. Colombia es un país que gran parte de su territorio cuenta con muchas laderas que son susceptibles a que se generen avenidas torrenciales (BOGOTA, 2014).

En los últimos años, los eventos por avenidas torrenciales han causado algunos desastres devastadores y como consecuencia se han puesto en peligro la vida de las personas durante estos eventos naturales aunque no se presentan de manera concurrente como lo son otros fenómenos naturales, su potencial de daño es muy elevado (CLIMATICO, 2012).

Al tema de las avenidas torrenciales se debe dar una considerable importancia porque son una amenaza que pueden generar daños económicos, viviendas destruidas y posibles pérdidas de vidas, en zonas de montaña, donde se observa un cambio de pendiente, que para Colombia implica, las zonas de mayor concentración urbana.

Según INGEOMINAS "las avenidas torrenciales son una amenaza natural muy común y posiblemente la menos estudiada en Colombia" (González, 2009), debido a sus condiciones topográficas y/o de variaciones en el relieve con presencia de diversas fuentes hídricas.

La variación de pendientes y otros factores físico-naturales de la zona de estudio posibilitan que este tipo de eventos aumenten su tasa de probabilidad en épocas de fuertes y constantes precipitaciones, Por lo tanto, la importancia de esta investigación analizando las variables y factores que se presentan en lugares de alta montaña y partiendo de antecedentes y datos que se recopilaban para llegar a obtener resultados que concuerdan con la realidad de lo que se presenta en la zona de estudio.

Se plantea la siguiente pregunta ¿Es posible identificar zonas susceptibles a amenaza por avenidas torrenciales en la cuenca media y baja del río Tona en el departamento de Santander mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica SIG, metodología Saaty e información existente, sabiendo que su relieve corresponde a pendientes de alta y media montaña, contribuyendo así a definir zonas para poblar, ordenar y proteger el territorio de la cuenca?

1.2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación publicada por el IDEAM, Las avenidas torrenciales son eventos que se presentan de manera rápida causa de las lluvias intensas de corta duración (IDEAM, 2017).

Con lo planteado en esta publicación del IDEAM se evidencia que las avenidas torrenciales son de potencial peligro porque se pueden presentar en cualquier momento debido a que hay zonas que son propensas y factibles para presentarse un desastre como lo es una avenida torrencial, teniendo en cuenta estos aspectos se evidencia que nuestra zona de estudio presenta diferentes condiciones morfológicas y geográficas óptimas para que se genere un evento de avenida torrencial, esto hace que la investigación de este proyecto sea de gran importancia.

Esta investigación se hace para conocer las zonas más propensas a un eventual fenómeno de avenida torrencial en la zona media y baja de la micro cuenca del río Tona y sus resultados servirán como apoyo a la gestión del riesgo del municipio y a las autoridades competentes en la toma de decisiones para ordenar el territorio alrededor del agua.

Dicha investigación, se desarrolla dentro de las líneas de investigación del grupo Grimat, al cual está adscrito el programa de Ingeniería en Topografía de las Unidades Tecnológicas de Santander, principalmente líneas de Geomática y Ordenamiento Territorial, se tienen en cuenta aquí. De igual forma, este proyecto cuenta con el apoyo del convenio de investigación y extensión entre las UTS y el municipio de Tona y será un aporte para el ordenamiento territorial de este municipio alrededor del agua.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar las zonas de amenaza por avenida torrencial en la cuenca media y baja del río Tona, con el uso de Sistemas de Información Geográfica, Metodología de Saaty e información existente contribuyendo al ordenamiento del territorio de la cuenca.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar información requerida y veraz de la zona de estudio sobre avenidas torrenciales para su clasificación y generación de una base de datos al respecto.
- Analizar casos de avenidas torrenciales en la zona de estudio, determinando las variables que han influido en este tipo de evento para definir los escenarios de amenaza mediante cartografía correspondiente.
- Generar cartografía con el uso de SIG para el reconocimiento de zonas de amenaza por avenidas torrenciales, mediante la metodología de Saaty, apoyando la gestión de riesgo y contribuyendo al ordenamiento del territorio en la zona media y baja de la cuenca del río Tona.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Autor	Título	Año	Objetivo	Referencia
Mateos, Rosa María; Arcedo y Cabrilla, Francisco Armando; Vílchez Mata, Manuel Salomón; Dutra Santos, Thiago; Silva Ribeiro, Rafael; Adelaide Mansini, Maria; Dias, Rubén; Machado, Susana; Carranco, Fausto; León, Johanna; Ruiz Peña, Gloria Lucía	“LOS PELIGROS GEOLÓGICOS EN IBEROAMÉRICA EL PAPEL DE LOS SERVICIOS DE GEOLOGÍA Y MINERÍA IBEROAMERICANOS (ASGMI)”	2020	Identificar los peligros geológicos más importantes en Iberoamérica, evaluar los impactos socio-económicos de los peligros geológicos, analizar las fortalezas y debilidades de los servicios geológicos iberoamericanos, generar recomendaciones para mejorar la gestión del riesgo geológico en Iberoamérica.	Los peligros geológicos en Iberoamérica: El papel de los servicios de geología y minería iberoamericanos (ASGMI) - Dialnet (unirioja.es)

Resumen: El documento señala que América Latina es una de las regiones geológicamente más amenazadas del mundo, sujeta a diversas amenazas naturales como terremotos, tsunamis, deslizamientos de tierra, inundaciones y erupciones volcánicas, destacó. El Servicio Geológico Iberoamericano juega un papel fundamental en la gestión del riesgo geológico proporcionando información y asesoramiento a los gobiernos y la sociedad civil. Este documento analiza las fortalezas y debilidades de los servicios geológicos iberoamericanos y destaca la necesidad de una mejor coordinación y coordinación entre los distintos servicios. Esta será una contribución importante para comprender los peligros geológicos en América Latina y el papel de los servicios geológicos en la gestión de riesgos. Este documento proporciona recomendaciones específicas para mejorar la gestión del riesgo geológico en la región para ayudar a mitigar los daños causados por desastres naturales.

Autor	Título	Año	Objetivo	Referencia
Cristián Henríquez; Nicole Aspee; Jorge Quense.	“Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático”	2016	analizar la evolución de las zonas de catástrofes por eventos hidrometeorológicos en Chile y proponer un índice de riesgo climático. El estudio utiliza variables como la población pobre y las enfermedades para evaluar la vulnerabilidad de las comunas a los eventos hidrometeorológicos y propone medidas de adaptación para reducir el riesgo.	Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático (scielo.cl)

Resumen: Se estima que los cambios en los patrones climáticos globales y su dinámica natural pueden conducir a eventos frecuentes y extremos, lo que resulta en un mayor riesgo. Este estudio se realizó en el país entre 1984 y 2013 en virtud de un decreto (Ley 16.282) que designa zonas de desastre debido a la migración masiva causada por tormentas, sequías, heladas, nevadas, inundaciones y eventos extremos. golpea el Provoa temperatura y precipitación. Mientras tanto, la información sobre exposición, vulnerabilidad y resiliencia se integrará en un índice

de riesgo climático a nivel comunitario. Los resultados de la encuesta muestran que las comunidades que presentan mayor riesgo climático en el país son las ubicadas en la costa de la Zona Central. Concluye que la gestión de riesgos requiere un enfoque adaptativo más que reactivo, especialmente ante la amenaza del cambio climático.

Autor	Título	Año	Objetivo	Referencia
Luis Javier Montoya Jaramill; Sandra Milena Silva Arroyave; Juan Esteban González.	“EVALUACIÓN DE ZONAS DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES UTILIZANDO METODOLOGÍAS CUALITATIVAS. CASO DE APLICACIÓN A LA QUEBRADA DOÑA MARÍA”	2008	La evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas es una herramienta importante para la gestión del riesgo de desastres. Esta herramienta puede ayudar a proteger a las personas y la infraestructura de los daños causados por estos eventos.	v8n15a02 (scielo.org.co)

Resumen: Esta metodología se basa en la identificación de factores que contribuyen al riesgo de lluvias torrenciales, como la topografía, la pendiente, la geología, la topografía, la red de drenaje acumulado, la distancia al canal y el índice de Melton. Las microcuencas identificadas con mayor riesgo de lluvias torrenciales se ubican en la parte central baja de las cuencas, consistentes con áreas de presencia de sedimentos y pendientes que favorecen la deposición de material. La metodología presentada en este artículo es una herramienta útil para evaluar zonas de amenaza por lluvias torrenciales en áreas urbanas. Esta metodología es relativamente fácil de aplicar y puede ser utilizada por expertos en diversos campos.

Autor	Título	Año	Objetivo	Referencia
Elizabeth Vera Camacho; Maira Lizeth Valderrama Corredor.	“ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES APLICADAS A CUENCAS DE ALTA MONTAÑA EN COLOMBIA”	2020	Analizar las metodologías de evaluación del riesgo por avenidas torrenciales que han sido aplicadas en Colombia.	mvalderram ac.pdf (unad.edu.co)

Resumen: El propósito de esta monografía es analizar los métodos de evaluación del riesgo de lluvias intensas aplicados a las cuencas alpinas de Colombia. En primer lugar, se dan diversas definiciones del término “inundación repentina” y los nombres con los que se le conoce en los distintos países, se explican los mecanismos desencadenantes y cómo se manifiesta el comportamiento de este fenómeno dependiendo del tipo de inundación. Inundaciones y sus características. Características morfológicas, geológicas y geomorfológicas relevantes de la cuenca.

Autor	Título	Año	Objetivo	Referencia
Giral Patarroyo, Yenni Fernanda; Ruiz Rodríguez, Yudy Carolina	“ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR AVENIDAS TORRENCIALES DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS CHICAMOCHA, SOGAMOSO Y SUÁREZ Y MODELO HIDRÁULICO EN EL ÁREA DE CONFLUENCIA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER USANDO SIG ESCALA 1: 25000”	2017	Realizar la zonificación de susceptibilidad por avenida torrencial mediante procesamiento de datos y su Modelamiento en SIG usando ArcGis que permita determinar los sectores con alta probabilidad de presentar dicho fenómeno y crear un modelo hidráulico en el área de influencia para establecer los efectos del agua en el programa Hec-Ras y HecGeo-Ras en el departamento de Santander a una escala de 1: 25000.	Zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales de las cuencas de los ríos Chicamocha, Sogamoso y Suárez y modelo hidráulico en el área de confluencia en el departament o de Santander usando SIG escala 1: 25000 (uptc.edu.co)

Resumen: El departamento de Santander, con un área total de 844 Km² donde se define las zonas más susceptibles a avenidas torrenciales, a través de una metodología Heurística, Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para obtener más información detallada y poder delimitar la geología de interés se estableció una escala 1:25000 incluyendo información del IDEAM para analizar datos de precipitación, temperatura y caudales medios, máximos y mínimos. Entre otros datos solicitados. Los mapas obtenidos para realizar el mapa de zonificación por avenidas torrenciales son resultantes de la geología, la topografía, las formas del terreno, la vegetación, el balance de agua y las características morfológicas. A partir de los datos obtenidos de las distintas variables utilizadas, tales como el modelo hidráulico, la topografía, las inclinaciones del terreno, las precipitaciones, la clasificación morfométrica y la cubierta superficial, se puede deducir que las zonas con mayores probabilidades de sufrir avenidas torrenciales son las partes bajas de las cuencas, debido a la acumulación de sedimentos, la socavación, la actividad humana y el aumento repentino de las precipitaciones. (Giral Patarroyo, 2017)

Autor	Título	Año	Objetivo	Referencia
Marly Dayana Mantilla Pabón.	“FORMULACIÓN DE LA LÍNEA BASE AMBIENTAL PARA EL COMPONENTE NO 1, FORMULARIOS A, B Y C DEL PLAN MUNICIPAL DE GESTIÓN DE RIESGO MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER.”	2020	Formular la Línea Base Ambiental del componente No 1, formularios A, B y C que corresponden a la caracterización de escenarios de riesgo como elemento fundamental del Plan Municipal de Gestión de Riesgo Municipio de Piedecuesta, Santander, a fin de disponer de un instrumento de	R-DC-128 Informe Final.pdf (uts.edu.co)

			planificación y gestión integral del territorio.	
--	--	--	--	--

Resumen: El objetivo de este proyecto se centró en el primer elemento, conformado por los formatos A, B y C. En el formulario A se efectuó un análisis preliminar de la información general del municipio, considerando sus características particulares. En el formulario B se detectaron todos los escenarios existentes, pasados o futuros, que pudieran surgir en este territorio, tanto por causas humanas como naturales, y por último, en el formulario C se evaluaron todos los escenarios identificados y se jerarquizaron en función de su frecuencia y nivel de riesgo. Cada uno de estos escenarios demanda la implementación de medidas para su mitigación o prevención. Con ese propósito se llevó a cabo esta investigación, a fin de que aquellos que lleven adelante el segundo componente del plan municipal de riesgos tengan en cuenta este documento y logren obtener resultados efectivos para afrontar las diversas situaciones de riesgo a las que está expuesto el municipio de Piedecuesta, en Santander. (Pabon, 2020)

Autor	Título	Año	Objetivo	Referencia
Jorge Eduardo Vásquez Santamaría; Martha Isabel Gómez Vélez; Hernán Darío Martínez Hincapié.	“LA AVENIDA TORRENCIAL DE MOCOA, PUTUMAYO ¿EJEMPLO DE UNA RETROSPECTIVA SIN PUNTO FINAL EN LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES DETONADOS POR EVENTOS NATURALES?”	2017	Analizar la tragedia de Mocoa, ocurrida el 31 de marzo de 2017, para identificar los factores que contribuyeron a su ocurrencia y para plantear recomendaciones para mejorar la gestión del riesgo de desastres en Colombia.	Vista de La avenida torrencial de Mocoa, Putumayo ¿ejemplo de una retrospectiva sin punto final en la gestión del riesgo de desastres detonados por eventos naturales? Revista de Derecho (uninorte.edu.co)

Resumen: Las fuertes lluvias que azotaron la ciudad de Mocoa, capital del departamento de Putumayo en la sur amazónica colombiana el 1 de abril de 2017, devolvieron a la agenda nacional el tema de la gestión del riesgo de desastres y el proceso de reasentamiento de la población. En el futuro, para proteger los derechos humanos de las personas vulnerables a estos eventos. Esta tragedia coincide con el punto culminante del primer informe ampliado presentado por la Comisión Interamericana de Derechos Humanos (CIDH) a la Clínica Jurídica de Interés Público de la Universidad Autónoma de América Latina, surgido de las audiencias temáticas de marzo de 2015.

Autor	Título	Año	Objetivo	Referencia
GONZALO DUQUE ESCOBAR	“EL DESASTRE DE ARMERO A LOS 30 AÑOS DE LA ERUPCIÓN DEL RUIZ”	Noviembre 11 del 2015	Reflexionar sobre las lecciones aprendidas de la tragedia de Armero, ocurrida el 13 de noviembre de 1985. El documento analiza los factores que contribuyeron a la tragedia, los impactos que tuvo y las medidas que se han tomado para prevenir que se repita.	eldesastredearmeroalos30.pdf (unal.edu.co)

Resumen: En este artículo académico que analiza la tragedia de Armero el 13 de noviembre de 1985, identifica los factores que contribuyeron a su ocurrencia y propone recomendaciones para evitar que una tragedia similar vuelva a ocurrir. El documento comienza con una descripción de la tragedia de Armero. El deslizamiento de tierra que sepultó a la comunidad fue provocado por la erupción del volcán Nevado del Ruiz en los Andes colombianos. La erupción derritió el glaciar del volcán y provocó una avalancha de lodo y escombros que cayeron por el río Lagunilla a gran velocidad. La avalancha alcanzó la ciudad de Armero, a unos 40 kilómetros del volcán, y sepultó la localidad en cuestión de minutos.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEORICO

La gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades (CONGRESO, 2012) Según las características del territorio y el análisis de amenazas que giran en torno a los centros urbanos y Rurales es pertinente analizar la planeación ante amenazas principalmente ante inundaciones y articularla con el plan de riesgo con el objetivo de ser más relevante la incorporación del mismo para planeaciones futuras, basándonos en la resolución 909 del 2008 donde se establecen los requerimientos para la implementación del plan nacional de contingencias para la atención de emergencia donde el plan incluirá y determinará todas las políticas, acciones y programas, tanto de carácter sectorial como del orden nacional, regional y local (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2008) con el fin de esclarecer y definir análisis de vulnerabilidad, sistemas y planteamiento de operaciones en caso de desastres.

El impacto en zonas verdes y su compaginación con el entorno hace que empiecen haber cambios en el uso del suelo estableciendo asentamientos en zonas inestables por amenazas constantes y provocando impactos ambientales irreversibles, hoy en día el cambio climático y el factor de conciencia individual del mismo ha cambiado el entorno que nos rodea siendo impredecible el momento en que ocurra un desastre, pero mitigable con las gestiones pertinentes delimitando zonas propensas a estos riesgos con la elaboración de mapas de inundaciones para los diversos procesos de planificación a nivel nacional, regional, local. (CARDENAS RIVERA, FERNANDEZ MARTINEZ, & TORRES PALACIOS, 2022), (INSTITUTO DE HIDROLOGIA, 2017).

En base al decreto 919 de 1989 el cual promueve y reglamenta un código nacional de recursos el cual se basa en la protección ambiental en lo que es materia de conservación y mitigación de recursos hídricos lo que contribuye a la prevención de avenidas torrenciales. (COLOMBIA E. P., DECRETO 919, 1989).

La gestión de riesgo y los planes que nacen para disminuir la vulnerabilidad de la población que habita alrededor de zonas inestables se evidencia en el Decreto 1086 de 2015 Establece medidas específicas para la prevención y reducción del riesgo de desastres, incluyendo la identificación y evaluación del riesgo, la planificación y

la gestión del riesgo, y la preparación y respuesta ante desastres (COLOMBIA E. P., DECRETO 1086, 2015), se pueden organizar de la siguiente manera:

1. Evaluación de Riesgos:

- **Identificación de Zonas de Riesgo:** determinar las áreas que son propensas a avenidas torrenciales. Esto incluye la identificación de cuencas fluviales, áreas bajas y terrenos susceptibles de inundación.
- **Análisis de Historiales:** estudiar eventos pasados de avenidas torrenciales, sus causas y consecuencias para comprender mejor los riesgos.

2. Monitoreo y Alerta Temprana:

- **Establecimiento de Sistemas de Monitoreo:** implementar sistemas de monitoreo de ríos, niveles de agua y condiciones meteorológicas para detectar condiciones que puedan llevar a avenidas torrenciales.
- **Desarrollo de Sistemas de Alerta:** crear un sistema de alerta temprana que permita a las autoridades y a la comunidad recibir avisos anticipados sobre posibles inundaciones repentinas.

3. Planificación y Preparación:

- **Desarrollo de Planes de Evacuación:** establecer rutas de evacuación y puntos de refugio seguros para las personas en riesgo.
- **Educación Pública:** informar a la comunidad sobre cómo prepararse para las avenidas torrenciales, incluyendo la importancia de tener un kit de emergencia y un plan de evacuación.

4. Infraestructura de Mitigación:

- **Construcción de Obras de Control de Inundaciones:** desarrollar infraestructuras como diques, presas y canales de derivación para reducir el impacto de las avenidas torrenciales.
- **Mejora de Sistemas de Drenaje:** asegurarse de que los sistemas de drenaje sean adecuados y estén diseñados para manejar flujos de agua intensos.

5. Normativas y Regulaciones:

- **Cumplimiento de Regulaciones:** asegurarse de que las construcciones en áreas de riesgo cumplan con regulaciones de uso de suelo y códigos de construcción.
- **Zonificación:** implementar zonificación que restrinja el desarrollo en áreas de alto riesgo.

6. Respuesta a Emergencias:

- **Establecimiento de Protocolos de Emergencia:** desarrollar planes de respuesta a emergencias que coordinen la actuación de las autoridades, servicios de rescate y la comunidad.

- **Capacitación y Ejercicios:** realizar ejercicios de simulación y capacitación para asegurarse de que todos estén preparados para responder a una avenida torrencial.

7. Recuperación y Reconstrucción:

- **Evaluación de Daños:** evaluar los daños después de un evento de avenida torrencial para determinar las necesidades de recuperación.
- **Planificación de la Reconstrucción:** desarrollar un plan de reconstrucción que incluya la restauración de la infraestructura dañada y la asistencia a las personas afectadas.

2.2. MARCO LEGAL

El paso del tiempo en los asentamientos y su necesidad de expansión por su crecimiento y la falta de gestión urbana han puesto a muchos municipios en alto riesgo y muchos han sufrido desastres a consecuencia de establecerse en sitios no aptos para ello y queda solo el recuerdo de algunos los que alguna vez fueron. a lo largo de la historia se han visto reflejados desastres irreversibles por no contemplar los riesgos a los que se exponen al situarse en zonas peligrosas por ello se han propuesto leyes y decretos que explora la obligación de hacer una caracterización del espacio para la expansión y la creación e implementación de planes de contingencia.

La importancia de desarrollar e implementar planes de gestión de riesgo y mantener actualizados los mismos surge a partir de la preservación de la vida humana, la planificación del desarrollo sostenible ya que permite el desarrollo del suelo de forma más adecuado y planificado evitando la construcción en áreas de alto riesgo, la reducción del impacto y el cumplimiento normativo garantiza tanto a las autoridades como la sociedad en general estar preparadas para enfrentar y actuar en situaciones de inundaciones, deslizamientos etc.. de manera efectiva y coordinada.

- **Ley 99 de 1993:** Establece que todas las corporaciones autónomas y regionales (CAR son las encargadas como máxima autoridad ambiental y administrativa establecer las bases para la planificación y el ordenamiento territorial, por ende todo modelo de planes de ordenamiento territorial deben incorporar criterios de sostenibilidad y resiliencia, las funciones del ministerio del medio ambiente es la formulación, regulación y preparación, de dirigir y coordinar todo proceso de planificación y ejecución armónica de las actividades en materia ambiental. (COLOMBIA C. D., LEY 99, 1993) (DESARROLLO, 2016)

- **Decreto 1076 de 2015:** Por el presente decreto se reglamenta que el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible es el encargado de formular y establecer las normas básicas para la prevención y control de los recursos hídricos garantizando el derecho de todas las personas a gozar del medio ambiente sano y proteger el patrimonio natural dando disposiciones con la delimitación de zonas de riesgo (COLOMBIA R. D., 2015).
- **Ley 1523 de 2012:** en la presente ley se establece la gestión del riesgo su gestión, formulación, ejecución, seguimiento y evaluación. La responsabilidad de toda autoridad y los habitantes del territorio, toda entidad pública, privada serán las encargadas de ejecutar procesos de gestión de riesgo, la divulgación de la información, así como el manejo de desastres dentro de las competencias de cada uno, por otra parte, la población será responsable de actuar con precaución, solidaridad, autoprotección, tanto en lo personal como en lo de sus bienes (COLOMBIA C. D., LEY 1553, 2012).
- **Decreto 1807 de 2014:** Determina y reglamenta las condiciones y escalas de detalle para la delimitación y zonificación de áreas de amenaza, áreas de alto riesgo así determinando en el plan de ordenamiento las zonas no urbanizables ya que hay riesgos presentes para establecer asentamientos humanos por amenazas naturales (artículo 8). Áreas con condición de amenaza, son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo (COLOMBIA P. D., 2014).

Toda área en la cual exista la posibilidad que presente inundaciones aledañas a ríos, quebradas, humedales u otros cuerpos de agua deben ser analizados para esclarecer el impacto que tendría en caso de haber un desbordamiento por lluvias intensas comenzando por hacer una identificación histórica con el registro de eventos de esa zona en la cual las poblaciones identifican áreas que han sufrido afectaciones por inundaciones (COLOMBIA P. D., 2014).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Avenida torrencial:** Se trata de inundaciones repentinas causadas por fuertes lluvias que elevan rápidamente los niveles de agua de ríos y arroyos de gran pendiente. Dependiendo de las condiciones de la cuenca, estas inundaciones pueden ir acompañadas de flujos de sedimentos (IDIGER, 2014).
- **Sistemas de información geográfica:** Un sistema de información geográfica (SIG) es un marco para recopilar, gestionar y analizar datos. Arraigados en la ciencia geográfica, los SIG combinan diferentes tipos de datos. Con ellos se puede analizar la ubicación espacial y organizar capas de datos para su visualización utilizando mapas y escenas 3D. Gracias a esta característica única, SIG revela información más profunda oculta en los datos, como patrones, relaciones y situaciones, y ayuda a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes (AEROTERRA, 2019).
- **Análisis espacial:** El análisis espacial es la aplicación de métodos analíticos a datos georreferenciados para extraer o crear nueva información geográfica para abordar un problema u objetivo específico (Esri, 2016).
- **Riesgo geológico:** Los riesgos geológicos son situaciones potencialmente dañinas que surgen como consecuencia de fenómenos naturales (Colombia, 2022).
- **Gestión del Riesgo:** el proceso social de planificar, implementar, monitorear y evaluar políticas y acciones sustentables para comprender y reconocer riesgos, prevenir o prevenir su ocurrencia, reducirlos o controlarlos cuando ya existen, y preparar y gestionar situaciones de riesgo. y para su posterior recuperación (rehabilitación y reconstrucción). Su finalidad específica es promover la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible (CONGRESO DE COLOMBIA, 2012).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo descriptiva, correlacionada y exploratoria, tiene como objetivo llevar a cabo un análisis de identificar las zonas afectadas por avenidas torrenciales y análisis geomorfológico en el área de estudio. En la microcuenca media y baja del río tona. Para alcanzar este propósito, se empleará un enfoque metodológico que integra elementos cualitativos y cuantitativos, desglosados en tres fases distintas. Cada fase se centrará en variables clave relacionadas con la recopilación de datos, el procesamiento de imágenes, el análisis geoespacial y la identificación de zonas afectadas por avenidas torrenciales. A continuación, se describen las tres fases de la investigación y se determina si son cualitativas o cuantitativas.

Fase 1: Caracterización y Recopilación de Datos (Cualitativa)

En esta fase inicial, se llevará a cabo la recopilación de información relacionada con la zona de estudio y las inundaciones pasadas. Se utilizarán métodos cualitativos, como entrevistas a residentes locales y revisión de documentos históricos, para comprender mejor la problemática y la evolución del área de estudio. La verificación de datos será fundamental para asegurar la calidad y la confiabilidad de la información recopilada. Además, se identificarán áreas propensas a inundaciones y se corregirán imágenes radiométricas y atmosféricas para garantizar datos de alta precisión.

Fase 2: Análisis Geoespacial y Reclasificación (Cuantitativa)

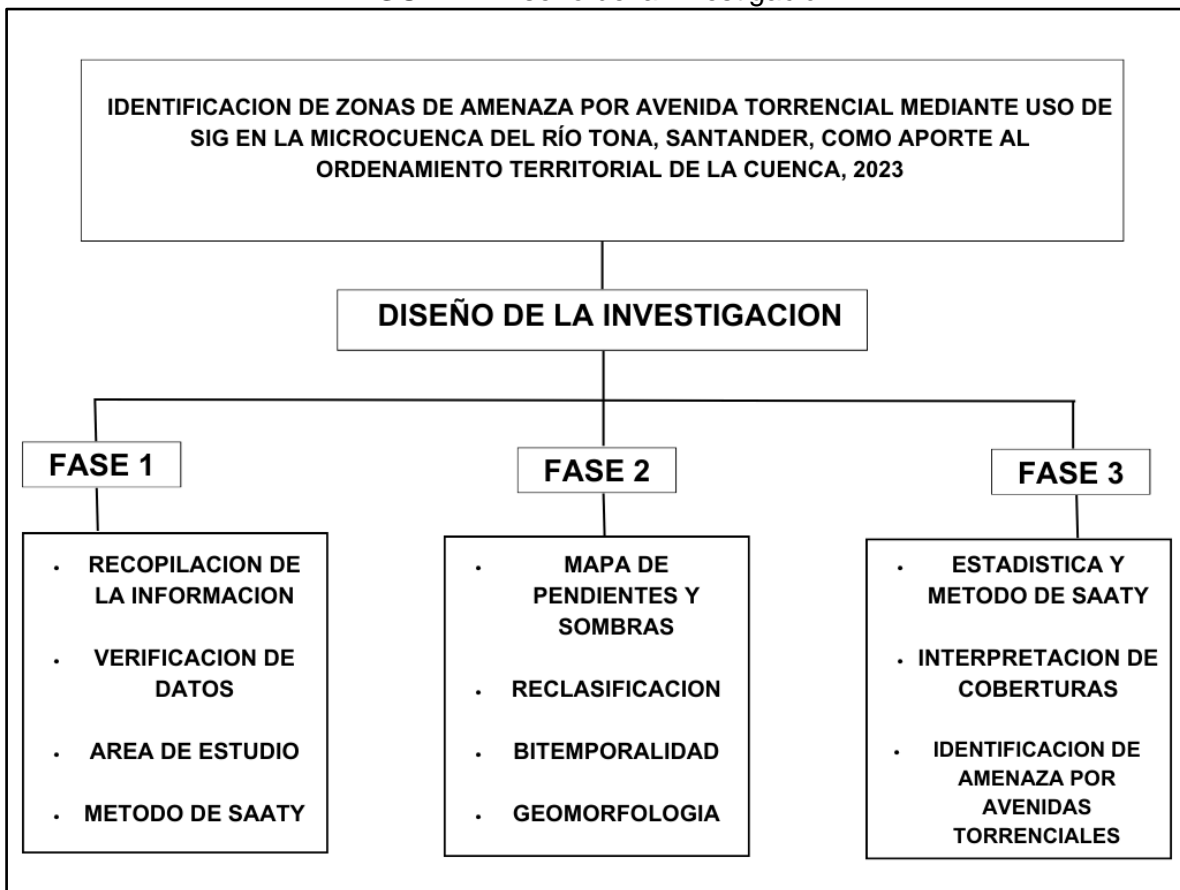
En esta fase, se emplearán técnicas cuantitativas para analizar los datos geoespaciales recopilados. Se utilizará el software ArcGIS Pro para crear un mapa de pendientes, lo que implica un enfoque cuantitativo en la medición y el análisis de variables topográficas. La reclasificación de datos también se llevará a cabo en esta fase para categorizar diferentes tipos de terreno y coberturas. La bitemporalidad se utilizará para comparar datos en diferentes momentos y evaluar cambios en la cobertura del suelo y la topografía.

Fase 3: Modelado de Inundaciones y Geomorfología (Cualitativa y Cuantitativa)

En esta fase final, se utilizarán técnicas tanto cualitativas como cuantitativas para analizar las inundaciones y la geomorfología del área de estudio. Se empleará el método de SAATY, lo que implica un enfoque cuantitativo que permite generar unos valores de acuerdo a las condiciones del terreno con las variables analizadas. Además, se llevará a cabo un análisis geomorfológico que combinará elementos cualitativos, como la observación de campo, con datos cuantitativos relacionados con la topografía. La identificación de zonas afectadas por avenidas torrenciales será un resultado clave de esta fase.

Esta investigación adopta un enfoque multidisciplinario que combina métodos cualitativos y cuantitativos en tres fases distintas para comprender y abordar la problemática de avenidas torrenciales y con el análisis geomorfológico en el área de estudio. La combinación de estas metodologías permitirá una comprensión más completa y precisa de la problemática, lo que a su vez contribuirá a la formulación de estrategias efectivas de gestión de riesgos y planificación territorial del municipio de tona.

FIGURA 1 Diseño de la investigación



Fuente: Propia

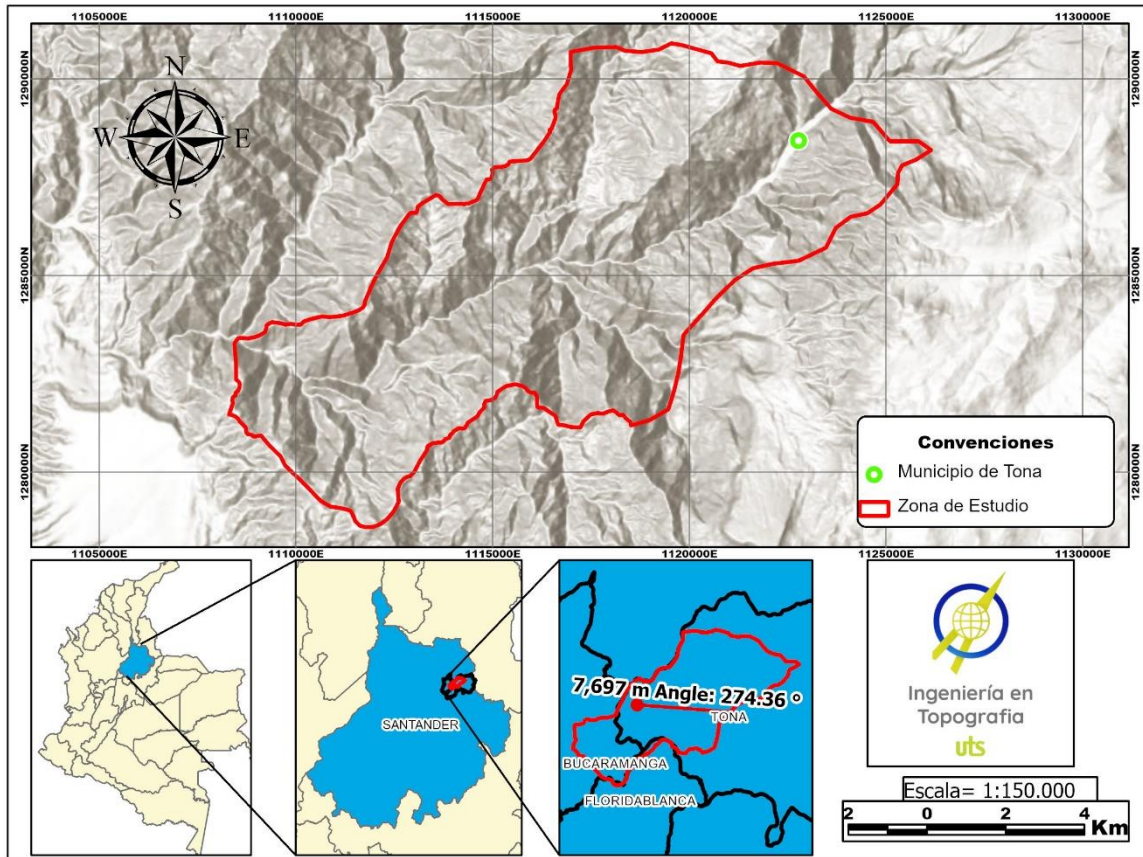
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. FASE 1

4.1.1. UBICACIÓN GENERAL Y CARACTERÍSTICAS DE LA SUBCUENCA DEL RIO TONA

La subcuenca del río Tona se ubica en el departamento de Santander, Colombia, Se localiza con coordenadas de 7.1475° N de latitud y 73.1167° O de longitud. Con una extensión aproximadamente de 193.50 km², esta región montañosa y accidentada forma parte de la cordillera Oriental de los Andes. El río Tona nace en la vertiente oriental de la cordillera Oriental y fluye hacia el norte antes de desembocar en el río Surata. La subcuenca del río Tona es un componente de la cuenca del río Magdalena, una de las cuencas fluviales más grandes de Colombia que finaliza en el mar Caribe. En esta región, la economía es diversa e incluye actividades como la agricultura, ganadería, producción de café, productos lácteos y turismo, que son fundamentales para la sustentabilidad de la población local. Aunque la cantidad exacta de veredas o urbanizaciones puede variar, la subcuenca del río Tona se compone de varias de ellas, contribuyendo a la riqueza de la región.

FIGURA 2 Mapa de ubicación



Fuente: Propia

La Subcuenca del río Tona tiene influencia en los municipios de Tona, Bucaramanga, Charta, Floridablanca y Piedecuesta. Con el 48.5% en el municipio de Tona contando con 17 veredas con el 25.7% en el municipio de Bucaramanga contando con 9 veredas, El municipio de Charta con el 17.1%, el municipio de Floridablanca con el 5.7 % y el municipio de Piedecuesta 2.8% son los municipios que se ven influenciado por la subcuenca del río Tona (Felipe, 2017)

TABLA 1 Veredas de la cuenca del Río Tona

NOM_DEP	NOMB_MPIO	NOMBRE_VER	FUENTE	AREA_HA
SANTANDER	BUCARAMANGA	RETIRO GRANDE PARTE BAJA	POT 2010	255.52
SANTANDER	BUCARAMANGA	ROSA BLANCA	POT 2010	219.37
SANTANDER	BUCARAMANGA	BOLARQUI ALTO	POT 2010	308.33
SANTANDER	BUCARAMANGA	GUALILO BAJO	POT 2010	306.31
SANTANDER	BUCARAMANGA	RETIRO CHIQUITO	POT 2010	536.40
SANTANDER	BUCARAMANGA	MONSERRATE	POT 2010	244.88
SANTANDER	BUCARAMANGA	RETIRO GRANDE ACUEDUCTO	POT 2010	425.91
SANTANDER	BUCARAMANGA	SAN JOSE	POT 2010	352.24
SANTANDER	BUCARAMANGA	10 DE MAYO SANTA BARBARA	POT 2010	515.37
SANTANDER	CHARTA	CRISTALINA	IMAGEN JPG	463.07
SANTANDER	CHARTA	CARBONAL	IMAGEN JPG	666.72
SANTANDER	CHARTA	LA AGUADA	IMAGEN JPG	1423.28
SANTANDER	CHARTA	PERICOS	IMAGEN JPG	438.86
SANTANDER	CHARTA	PANTANOS	IMAGEN JPG	693.63
SANTANDER	CHARTA	ROBLE	IMAGEN JPG	1861.79
SANTANDER	FLORIDABLANCA	VERICUTE	POT	1179.86
SANTANDER	FLORIDABLANCA	AGUA BLANCA	POT	2037.66
SANTANDER	PIEDECUESTA	SANTA RITA	PBOT PIEDECUESTA	1465.17
SANTANDER	TONA	EL PALMAR	POT TONA	1186.21
SANTANDER	TONA	VEGAS	POT TONA	639.12
SANTANDER	TONA	ARNANIA	POT TONA	1387.65
SANTANDER	TONA	VEGAS	POT TONA	1207.83
SANTANDER	TONA	ARMARIA	POT TONA	840.32
SANTANDER	TONA	QUEMADO	POT TONA	2667.69
SANTANDER	TONA	GUAUMALES	POT TONA	1097.96
SANTANDER	TONA	CARAGUA	POT TONA	347.99
SANTANDER	TONA	MONTE CHIQUITO	POT TONA	263.87
SANTANDER	TONA	PIRGUA	POT TONA	2902.91
SANTANDER	TONA	BABILONIA	POT TONA	738.05
SANTANDER	TONA	CUESTABOBA	POT TONA	3397.05
SANTANDER	TONA	JUAN RODRIGUEZ	POT TONA	3789.98
SANTANDER	TONA	UCATÁ	POT TONA	3619.26
SANTANDER	TONA	PITONES	POT TONA	1111.69
SANTANDER	TONA	TEMLADAL	POT TONA	1532.80
SANTANDER	TONA	ALIZAL	POT TONA	2181.35

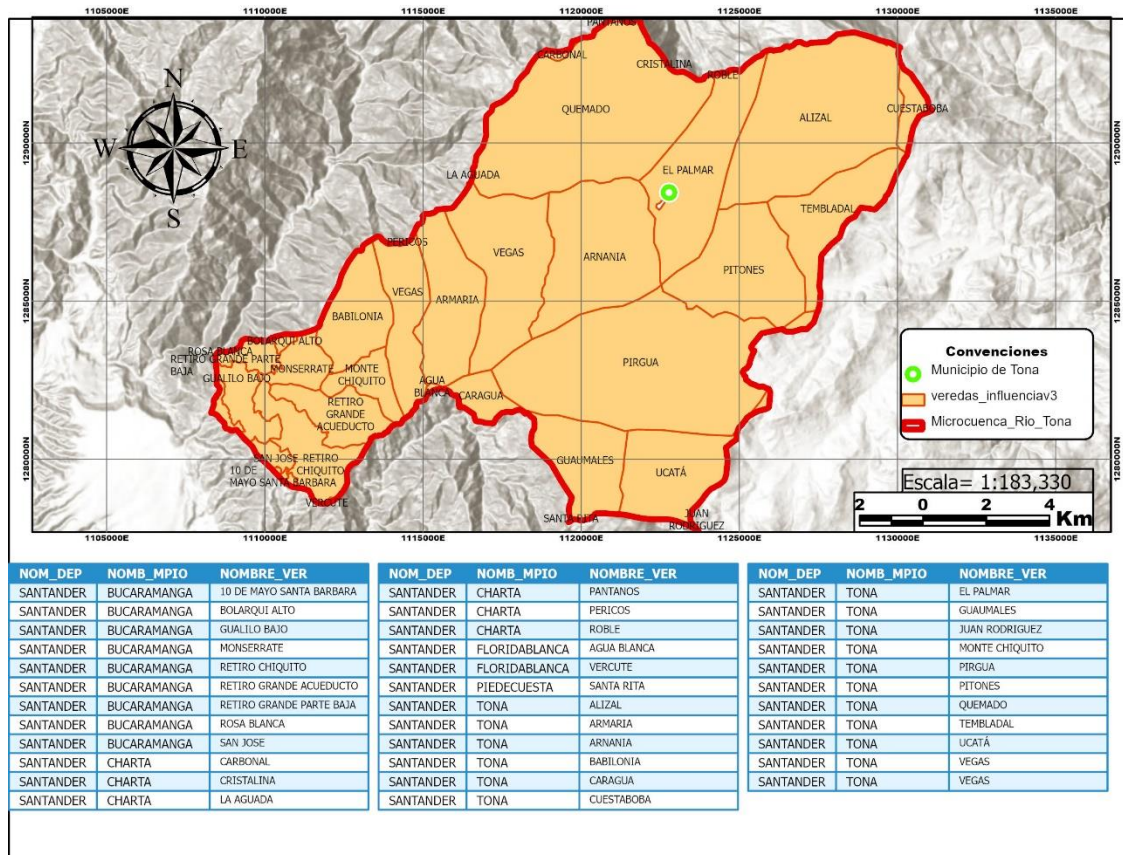
Fuente: Propia

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

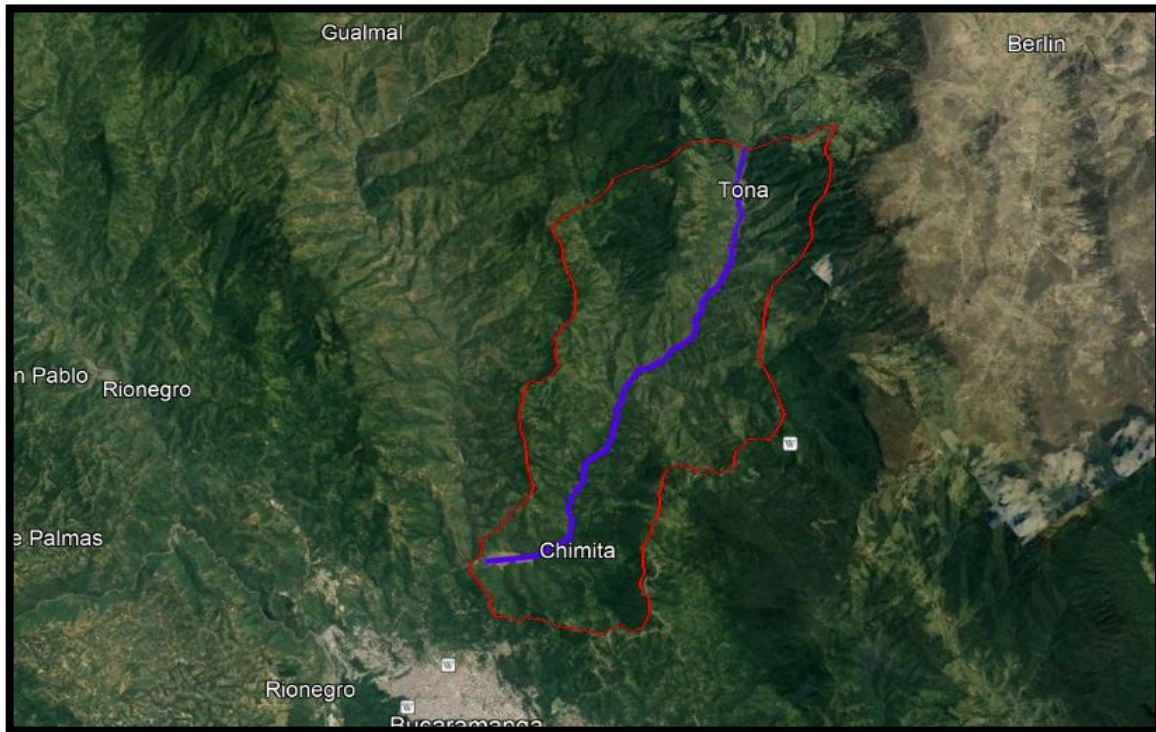
APROBADO POR: Líder proceso Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

FIGURA 3 Veredas de la cuenca del Río Tona



Fuente: Propia

FIGURA 4 Cuenca media y baja del Río Tona



Fuente: Propia

4.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO TONA

- **La subcuenca del río Tona**, situada en el departamento de Santander, Colombia, exhibe una serie de características hidrográficas significativas que influyen en su comportamiento hídrico y en la gestión de sus recursos. El área total de esta cuenca se estima en 193.50 kilómetros cuadrados, de acuerdo con datos recopilados (Peña, 2018). Esta cifra es calculada a partir de la proyección en plano horizontal de la superficie delimitada por la divisoria de aguas, que incluye los puntos más elevados de la cuenca. Esta medida es fundamental para comprender la capacidad de almacenamiento de agua de la cuenca. (Peña, 2018)
- **En cuanto a su cauce principal**, Es un cauce principal que nace entre los páramos de Pescadero y Santurbán, con elevaciones máximas de 3850 m y con un área aferente de 208 km². Las fuertes pendientes de la cuenca hacen que los cursos de las aguas corran por gargantas y tengan alto poder erosivo y de arrastre. (ENERGÍA, 2007)

- **Marco geológico general**, La microcuenca del río Tona es una cuenca Inter montaña localizada entre las cuencas sedimentarias de Maracaibo y del Valle Medio del Magdalena Medio, que tienen como basamento el denominado Macizo de Santander localizado al oriente de la falla de Bucaramanga y al occidente del sistema de fallas de Servita y Chitagá, en la cordillera oriental de Colombia. (CDMB, 2022)

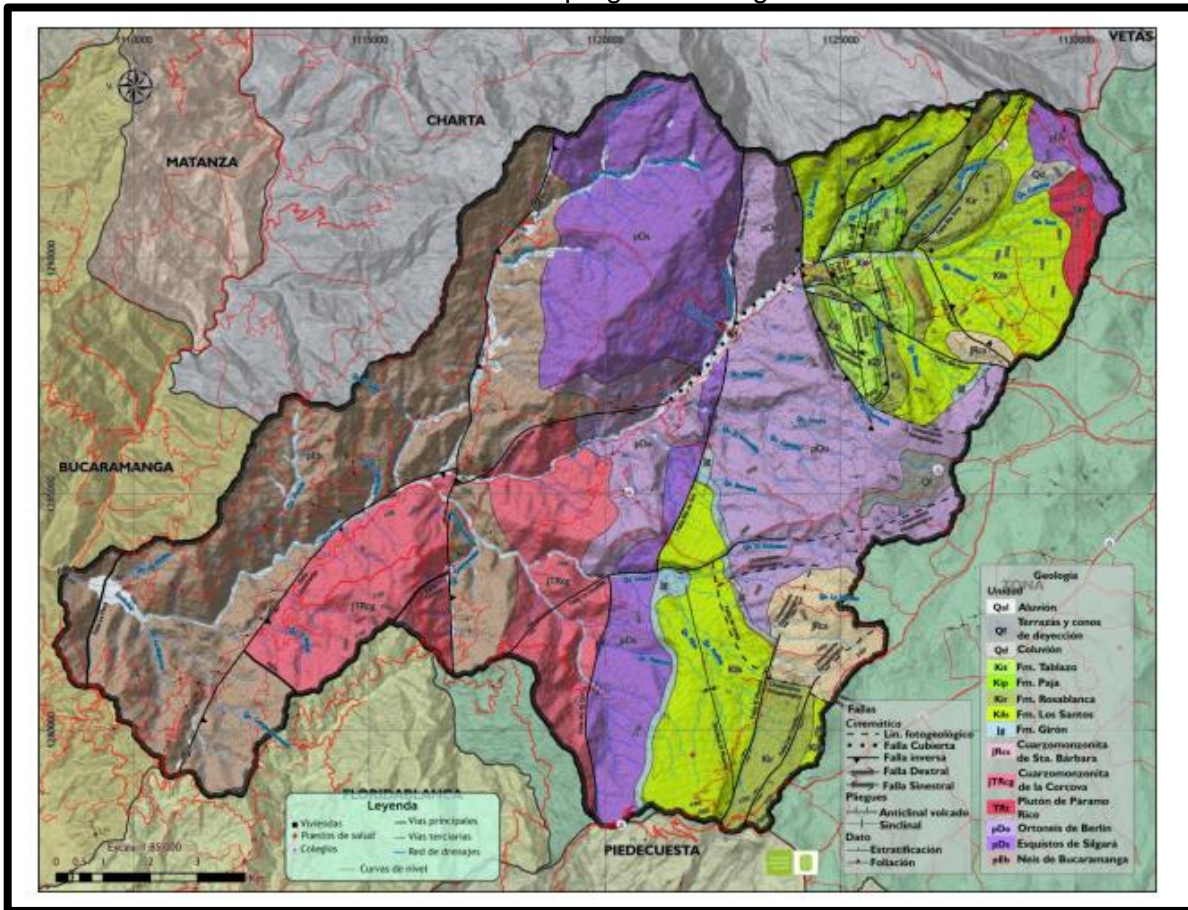
4.1.3. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología de las cuencas hidrográficas en Colombia es diversa y compleja, reflejando la variabilidad de los paisajes que componen el territorio colombiano. Enfocando la geomorfología en nuestra zona de estudio tenemos que la microcuenca del río Tona se localiza en la Provincia Fisiográfica Cordillera Oriental y se distribuye en los pisos térmicos extremadamente frío, muy frío y medio. En la zona de estudio se puede identificar las siguientes Unidades Genéticas en su relieve.

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

Por lo tanto, la ocurrencia de eventos de movimientos en masa en la microcuenca del Río Tona ha tenido impactos significativos en las comunidades locales, la infraestructura y los recursos naturales de la región. (CDMB, 2022)

FIGURA 5 Mapa geomorfológico



Fuente: (Ramos, 2023)

4.1.4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

4.1.4.1 Imágenes satelitales

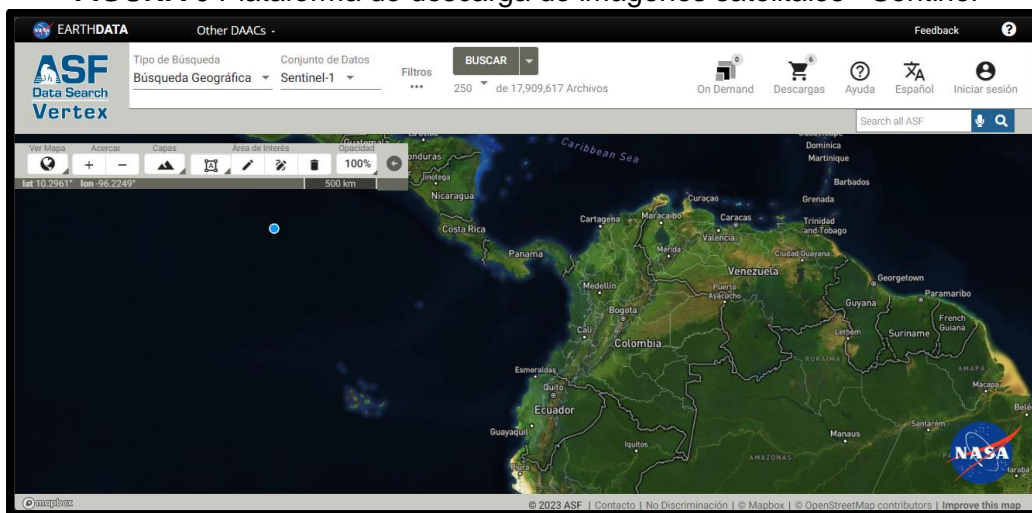
Alaska Vertex es una plataforma especializada en la obtención y distribución de imágenes satelitales, ofreciendo a los usuarios la posibilidad de acceder a imágenes de diferentes años y diversos tipos de imágenes. Esta plataforma facilita con obtención de imágenes que con la ayuda de ellas se define el área de estudio, en nuestro caso la microcuenca del río Tona. En esta fase inicial del proceso, se adquieren las imágenes correspondientes al periodo de tiempo definido que son los años 2017 y 2022.

Existen dos tipos de imágenes una de ellas son las imágenes ópticas son ideales para analizar características visuales, como cambios en el uso del suelo, vegetación y cuerpos de agua. Por otro lado, las imágenes de radar pueden penetrar las nubes y proporcionar información valiosa incluso en condiciones atmosféricas adversas.

- **SENTINEL -1**

Para poder descargar imágenes radar provenientes de Sentinel 1, deberás acceder al portal de descarga de ALASKA VERTEX. Aunque la descarga de datos radar es gratuita, deberás lograr para comenzar a identificar tu zona de interés ROI o AOI desde la herramienta lateral derecha de su visor. Se utilizaron imágenes de dos años diferentes, una de ellas del año 2017 del mes de diciembre y la otra es del año 2022 del mes de mayo para complementar la información y validar los resultados, se tuvo en cuenta que la información adquirida fuera válida y aspectos como la dirección, los píxeles, la inclinación y otros factores importantes a la hora de escoger las imágenes satelitales.

FIGURA 6 Plataforma de descarga de imágenes satelitales - Sentinel

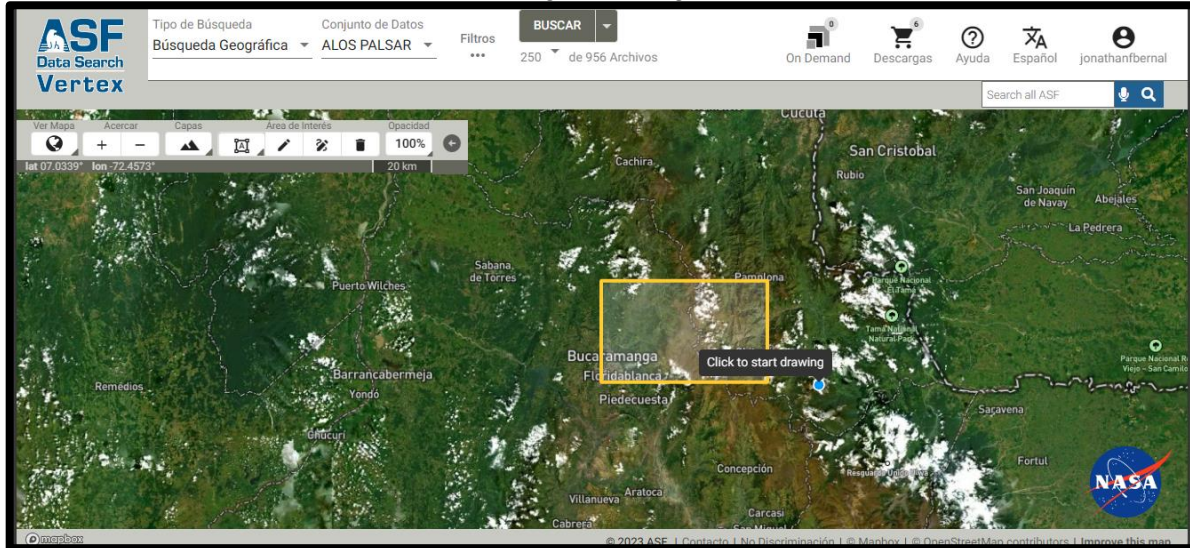


Fuente: [ASF Data Search \(alaska.edu\)](https://alaska.edu)

- **ALOS PALSAR**

Las capacidades del Radar de Apertura Sintética (SAR) para capturar imágenes de la superficie terrestre en diversas condiciones climáticas, superar la cobertura de nubes y funcionar en condiciones de baja luminosidad son ampliamente reconocidas. Con la reciente disponibilidad de modelos de terreno de alta resolución a 30 metros provenientes de la Misión Topográfica de Radar en el Transbordador Espacial (SRTM), y el interés en facilitar el uso de los datos SAR, la Facultad de Satélite de Alaska (ASF) actualmente proporciona productos de imágenes corregidos de terreno radiométrico (RTC) de la banda L de los datos de ALOS PALSAR. En esta guía de datos, se detallan los métodos para (a) generar una animación con 18 productos PALSAR RTC y (b) crear un mapa de inundaciones que cuantifica el número de eventos de inundación utilizando dicho conjunto de datos. (Codazzi, 2017)

FIGURA 7 Plataforma de descarga de imágenes satelitales – Alos Palsar



Fuente: [ASF Data Search \(alaska.edu\)](http://ASF.DataSearch.alaska.edu)

Estas imágenes se utilizaron para la generación de cobertura, mapas de inundación, bitemporalidad se basó en una exhaustiva recopilación de datos e información proveniente de diversas fuentes como son Alaska vertex y copernicus. Las imágenes satelitales utilizadas para este propósito se obtuvieron de Alaska vertex. Estas imágenes proporcionaron una visión detallada de la región en diferentes momentos, lo que permitió realizar un análisis comparativo de la evolución de las inundaciones a lo largo del tiempo.

- **LAND COVER**

Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra CORINE Land Cover 1990 (CLC90), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.

FIGURA 8 Plataforma análisis de cobertura



FUENTE: [Home | Copernicus Global Land Service, 2017](#)

La interpretación de las imágenes de satélite se realiza inicialmente a través de la visualización en computador, empleando el software ArcGIS Pro, Arc Gis Desktop-ArcMap, 10.8.

La verificación de información o calidad de estos datos hace referencia a un proceso de revisión y corrección continuo y sistemático de seguimiento del avance de las diferentes actividades que se deben adelantar en cada una de las etapas del proceso, con el propósito de garantizar la calidad topológica, geométrica y temática de las imágenes satelitales obtenidas.

4.1.5. METODO DE SAATY

el método saaty nos ayuda por medio de un método cuantitativo la toma de decisiones de un orden de multicriterio el cual genera unas escalas de prioridad todo esto mediante comparaciones de preferencias esta escala permite incorporar juicios representando la dominancia o preferencia de una alternativa frente a otra en relación a un atributo. (SAATY, 1990)

El método saaty se puede definir en 4 pasos:

1. La definición del problema y el tipo de conocimiento que se quiere obtener.
2. La estructuración del problema través de la descomposición jerárquica en subproblemas (criterios y subcriterios), que deben resolverse para arribar a una solución satisfactoria. Las alternativas se encuentran en el nivel más bajo de dicha jerarquía.

3. La construcción de matrices de comparación, en las que se cargan los juicios expertos mediante el método de comparación uno a uno con la escala sugerida del método.

4. Por último la síntesis de cada una de las matrices y finalmente del modelo completo para obtener la prioridad global de cada alternativa. (NANTES, 2019)

Las ventajas de usar el multicriterio al momento de analizar es poder desglosar y analizar el problema por partes así podemos medir los multicriterios de forma tanto cuantitativos como cualitativos mediante una escala común, verificar el índice de consistencia y poder hacer correcciones de ser necesario. (HURTADO TOSAKO)

El cómo definir y estructurar el problema se basas en análisis de decisiones y como esta noción se puede estructurar de manera creativa para traducir el problema en un conjunto de elementos, relaciones y operaciones. (NANTES, 2019) (SAATY, 1990)

Al momento de abordar el proceso la parte más importante es definir los factores y acomodar dichos factores en una jerarquía descendiente en nuestro caso para realizar el estudio correspondiente empleamos la altitud y la pendiente como factores primordiales para la ejecución del método, el objetivo principal a criterios, subcriterios y alternativas en sucesivos niveles. (SAATY, 1990) (NANTES, 2019)

FIGURA 9 Análisis de cobertura

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual importancia	Las actividades contribuyen de igual forma al objetivo.
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra es absoluta e incuestionable.
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes.
Recíprocos	$a(ij)=1/a(ji)$	Cuando i tiene un valor respecto a j igual a un entero de los indicados arriba, entonces el valor de j respecto a i es igual a 1/a.

FUENTE: (SAATY, 1990)

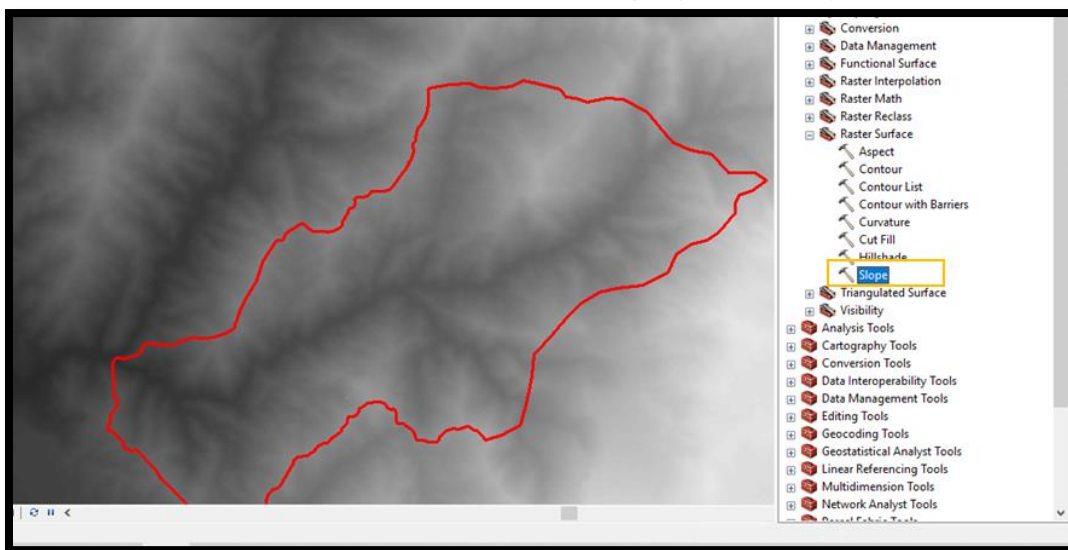
4.2. FASE 2

4.2.1. MAPA DE PENDIENTES Y DE SOMBRAS

a) PENDIENTES

Primeramente, una vez descargado el DEM que corresponda a la zona de estudio se aplica la herramienta slope en el software ArcMap, generando un mapa de pendientes.

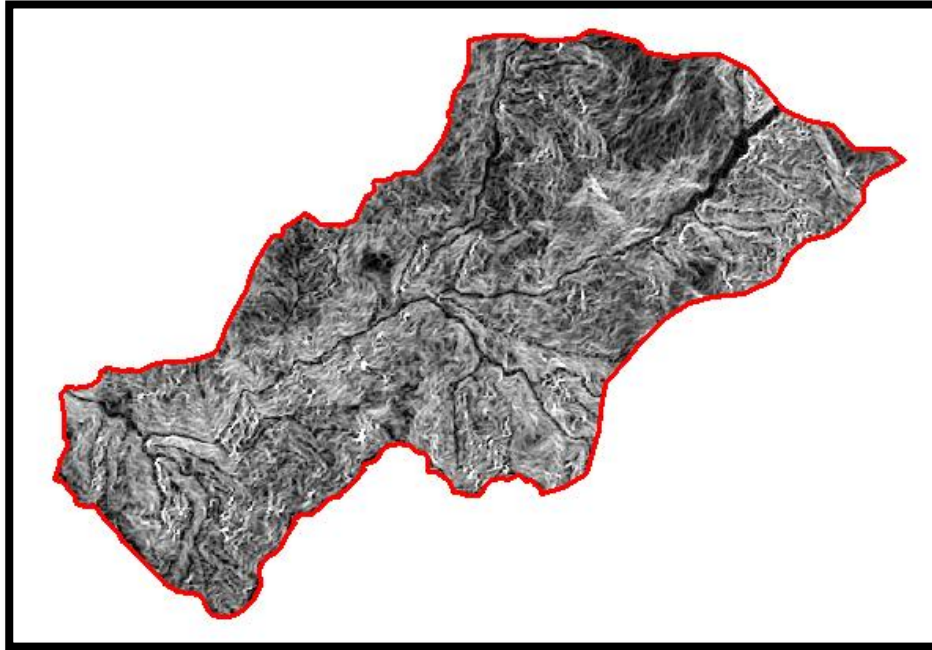
FIGURA 10 Herramienta Slope (Pendientes)



Fuente: Propia

- Luego se hace un recorte para que el Slope (el mapa de pendientes) obtenido anteriormente concuerde con la zona de estudio.

FIGURA 11 Resultado de la herramienta Slope



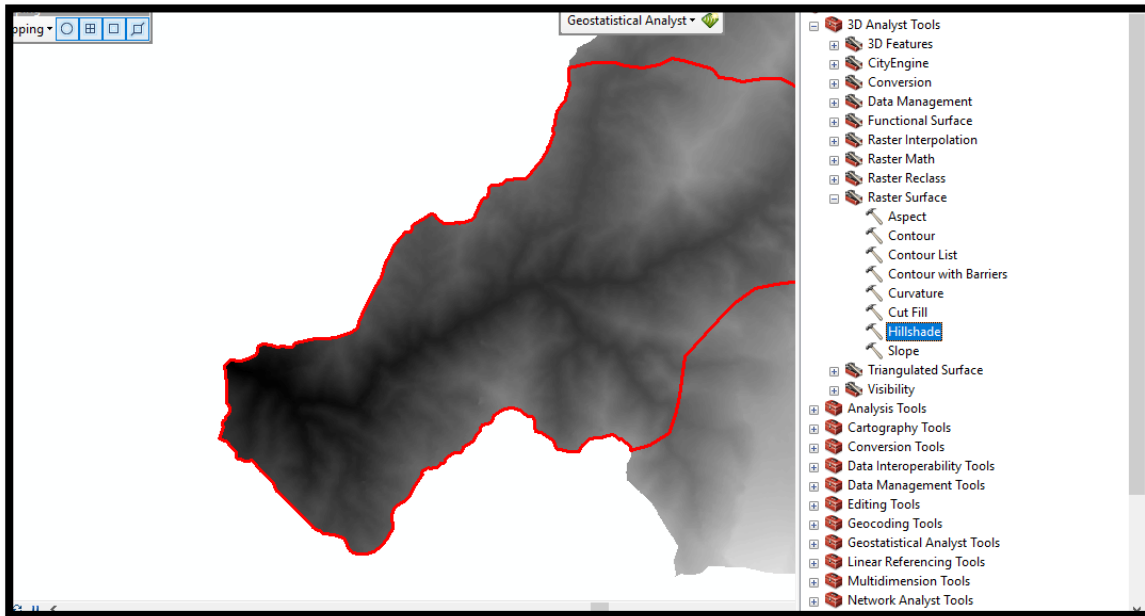
Fuente: Propia

Este mapa de pendientes que se obtiene permite identificar la diferencia de gradientes que están presentes en la zona de estudio, permitiendo ver las características y el comportamiento de las pendientes que son las de gran influencia y una variable importante a tener en cuenta en esta investigación, ayuda a evaluar y hacer el análisis de las zonas que se pueden ver más afectadas debido a la presencia de los cambios que hay en el terreno.

a) MAPA DE SOMBRAS

- Con el mismo DEM que se generó el mapa de pendientes a su vez se creó un mapa sombras, gracias a la herramienta Hillshade del software ArcGIS.

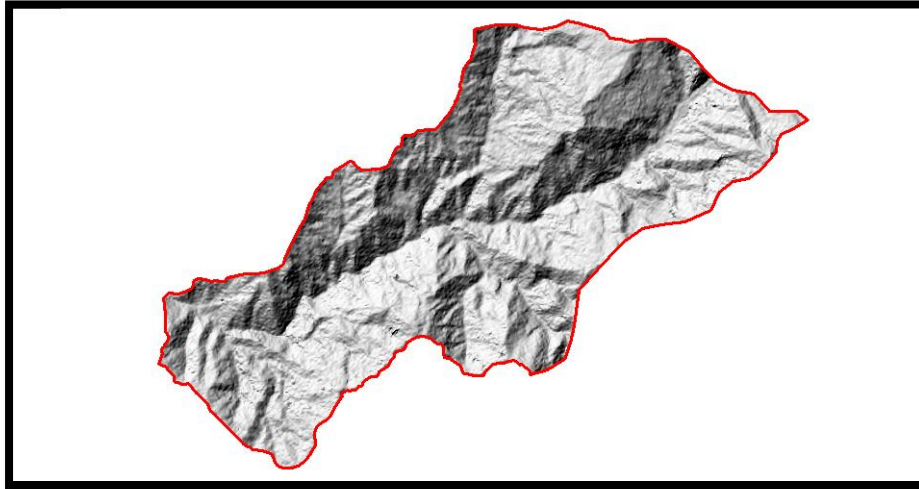
FIGURA 12 Herramienta Hillshade (Mapa de Sombras)



Fuente: Propia

Ejecutado el proceso se obtuvo el mapa que representa las sombras y niveles de la luz solar sobre el terreno identificando la superficie del terreno mediante el sombreado de las laderas se puede observar un contraste de luminosidad y definiendo con mayor claridad las zonas de mayor pendiente en el área de estudio.

FIGURA 13 Resultado de la herramienta Hillshade para mapa de sombras



Fuente: Propia

4.2.2. RECLASIFICACIÓN

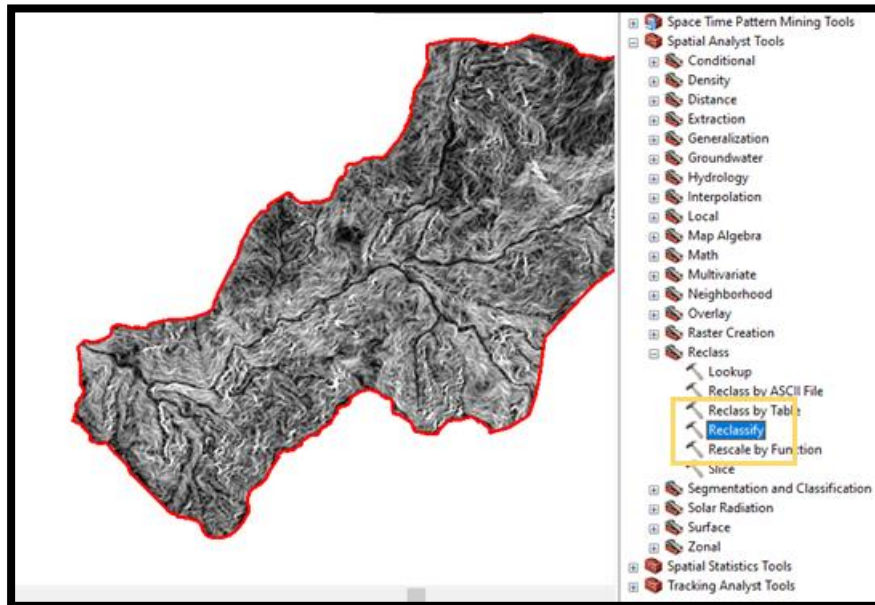
Para obtener una visualización más óptima de las pendientes de la zona de estudio se hizo uso de herramienta **Reclassify** que permite reclasificar los valores de un ráster, es decir reemplaza los valores actuales de cada celda, por nueva información. Todo ello para obtener una simbología con estudio que se está realización que, para nuestro caso la generación de un mapa de pendientes. Para ellos se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de clasificación.

TABLA 2 Criterios de reclasificación

Clase*	Descripción	Porcentaje	Grados
01	Plano	0 - 1	0 - 0.57
02	Muy ligeramente inclinado	1 - 2	0.57 - 1.15
03	Ligeramente inclinado	2 - 5	1.15 - 2.86
04	Inclinado	5 -10	2.86 - 5.71
05	Fuertemente inclinado	10 - 15	5.71 - 8.53
06	Moderadamente escarpado	15 - 30	8.53 - 16.70
07	Escarpado	30 - 60	16.70 - 30.96
08	Muy escarpado	> 60	> 30.96

Fuente: (PDF) Fundamentos de SIG | Franz Pucha-Cofrep - Academia.edu, 2017

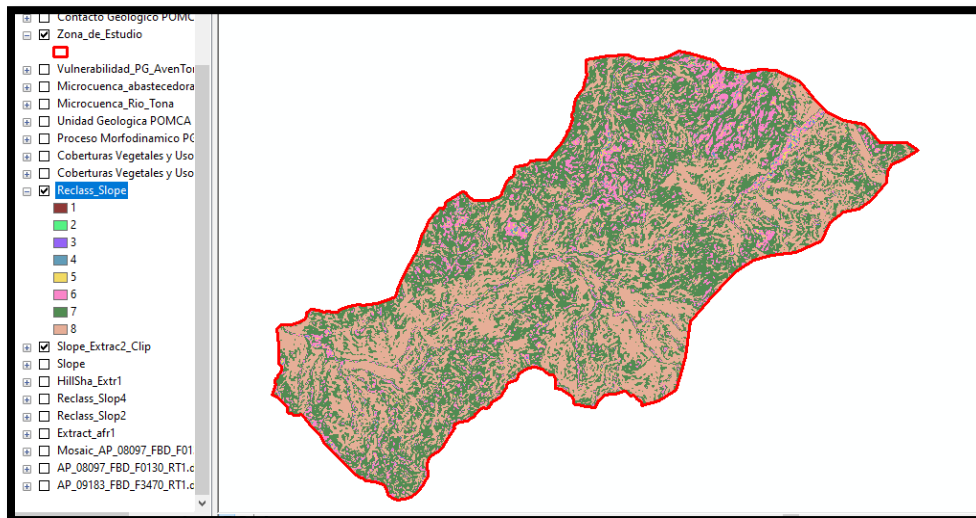
FIGURA 14 Herramienta Reclassify



Fuente: Propia

- Para que se pueda obtener una representación más específica de las pendientes se procedió a realizar una reclasificación y obtener un mapa de pendientes con datos más claros para su posterior análisis

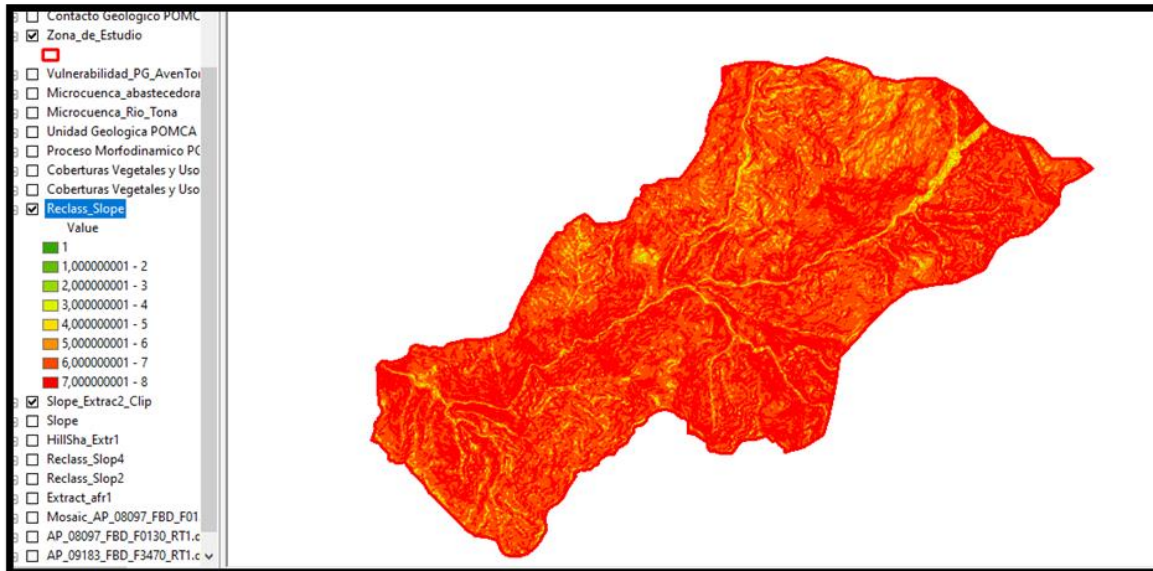
FIGURA 15 Reclasificación de las pendientes



Fuente: Propia

- Finalmente, se le da una simbología que corresponda al mapa que se está realizando

FIGURA 16 Simbología final a la reclasificación



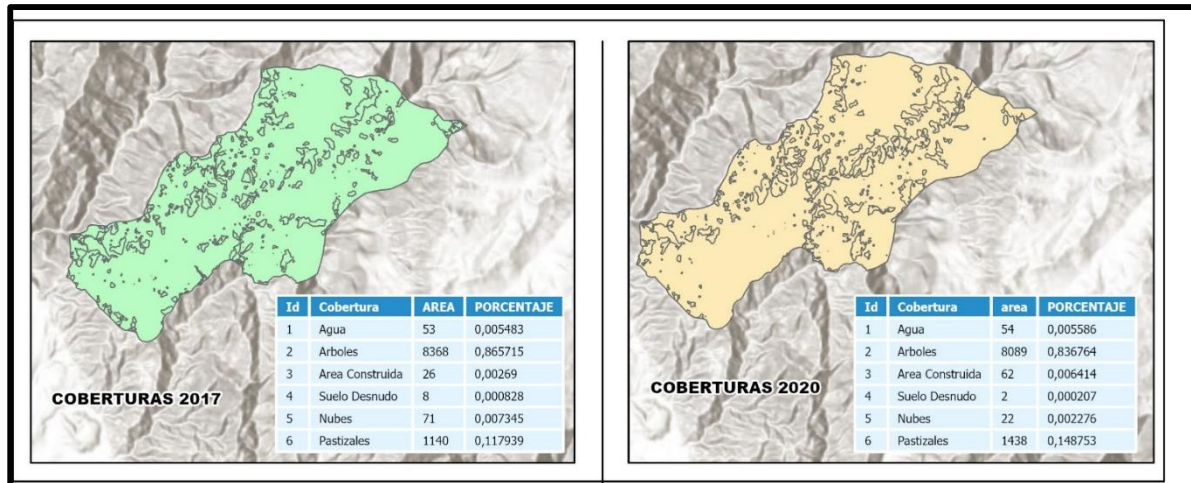
Fuente: Propia

4.2.3. BITEMPORALIDAD

La bitemporalidad es una técnica crucial en la interpretación de imágenes satelitales, donde se comparan dos imágenes de diferentes fechas (tiempo) para una misma zona con el fin de estudiar cambios en la superficie entre esas dos fechas escogidas. Este análisis nos permite detectar cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo, lo cual resulta fundamental para comprender el impacto de diversos fenómenos en la zona de estudio. En nuestro caso, nos enfocamos en la microcuenca del río Tona, donde seleccionamos los años 2017 y 2020 como años de referencia para realizar la comparación. Para ello, descargamos dos imágenes Sentinel correspondientes a esos años y empleamos el software ArcGIS para generar la cobertura del suelo. Con esta información, podemos analizar fenómenos como movimientos en masa, acción de las precipitaciones, incendios, deforestación, inundaciones, avenidas torrenciales, sismicidad, urbanismo, entre otros, y evaluar su impacto en la zona a lo largo del tiempo. Este análisis detallado nos proporciona

una comprensión más completa de los cambios en la superficie y nos ayuda a identificar posibles factores clave que puedan afectar la zona estudiada.

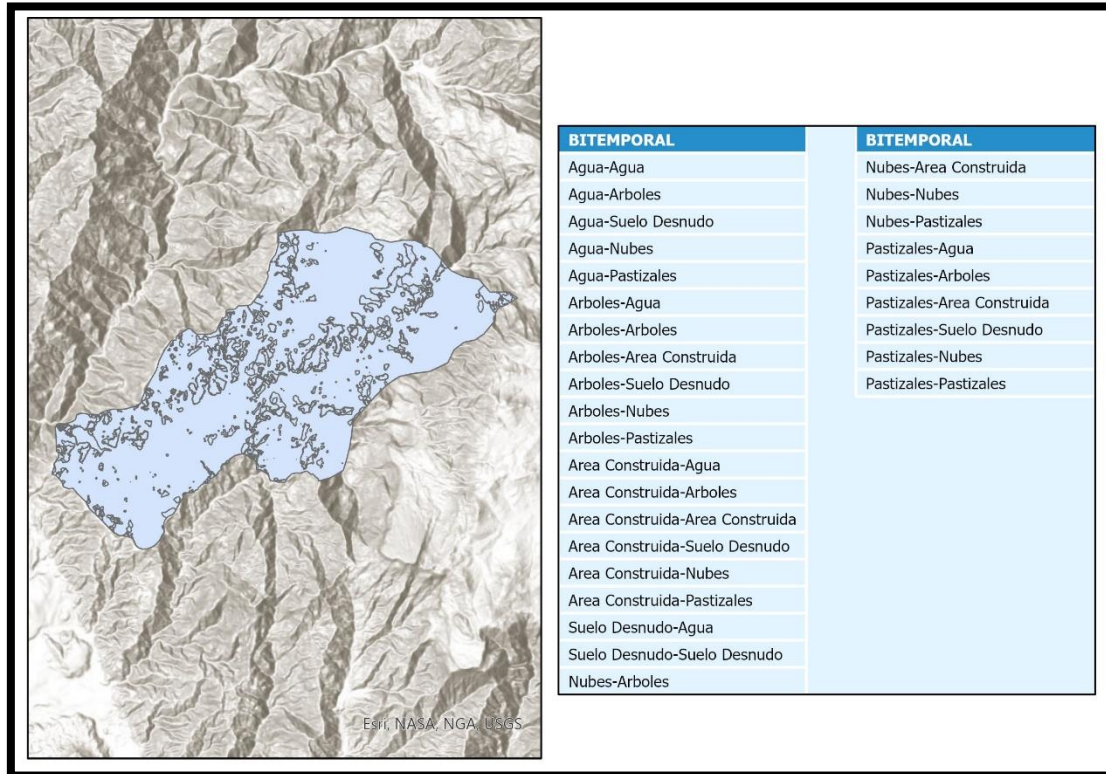
FIGURA 17 Coberturas de la zona de estudio



Fuente: Propia

- Finalmente, para la generación de la Bitemporalidad se hizo una comparación de las coberturas del año 2020 y 2017 para conocer cuáles han sido las variaciones que ha tenido la superficie terrestre en la zona de estudio, esto ayuda a conocer si esos cambios de cobertura pueden ser un aporte para una avenida torrencial en –el análisis, también identificar que zonas son las que presentan mayores cambios en la cobertura terrestre, ya sea por urbanismo, factores ambientales o riesgos naturales u otros, mostrando la comparación de los años en estudio.

FIGURA 18 Bitemporalidad

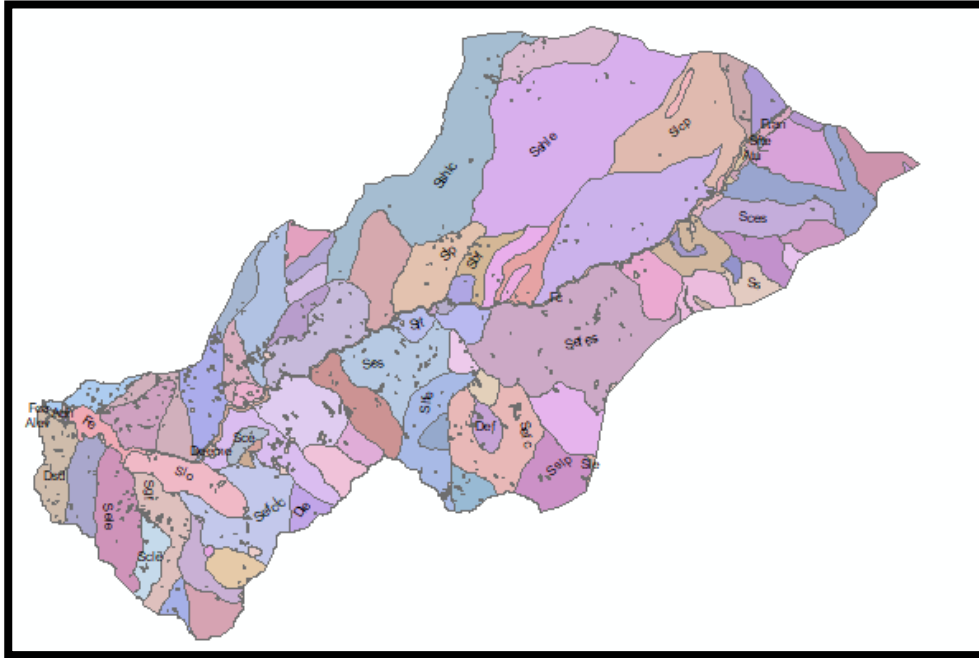


Fuente: Propia

4.2.4. GEOMORFOLOGÍA

Es un aspecto de gran importancia para el análisis en la zona de estudio, porque se evidencian las transformaciones y los cambios que se presentan en la zona de estudio, principalmente permite identificar las condiciones de la superficie terrestre además de diversos sistemas estructurantes, deformaciones de la corteza, sistemas denudacionales y sistemas litológicos presentes en el área de interés.

FIGURA 19 Geomorfología zona de estudio



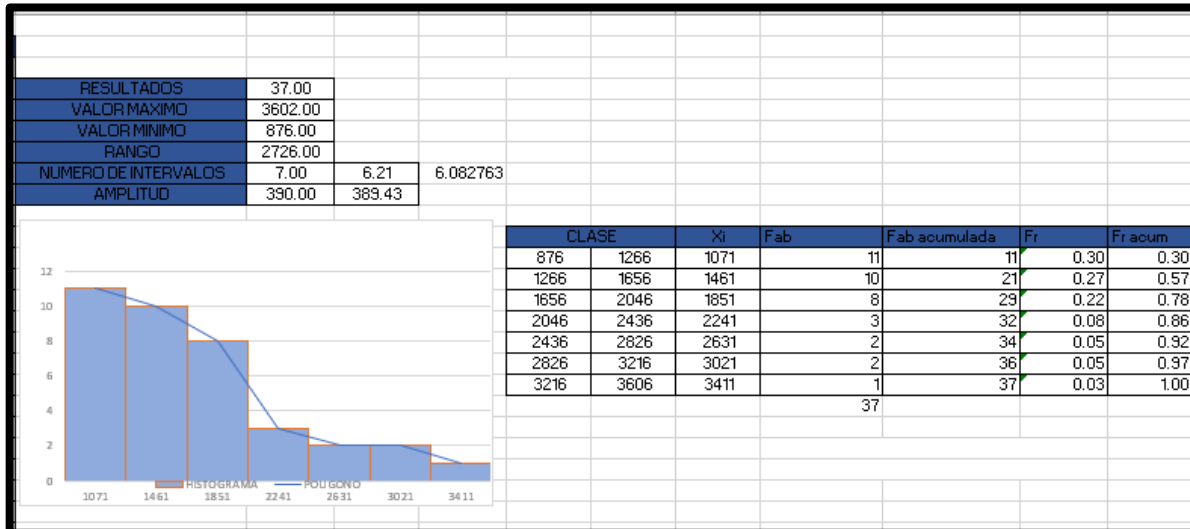
Fuente: (Ramos, 2023)

4.3. FASE 3

4.3.1. ESTADÍSTICA Y METODO DE SAATY

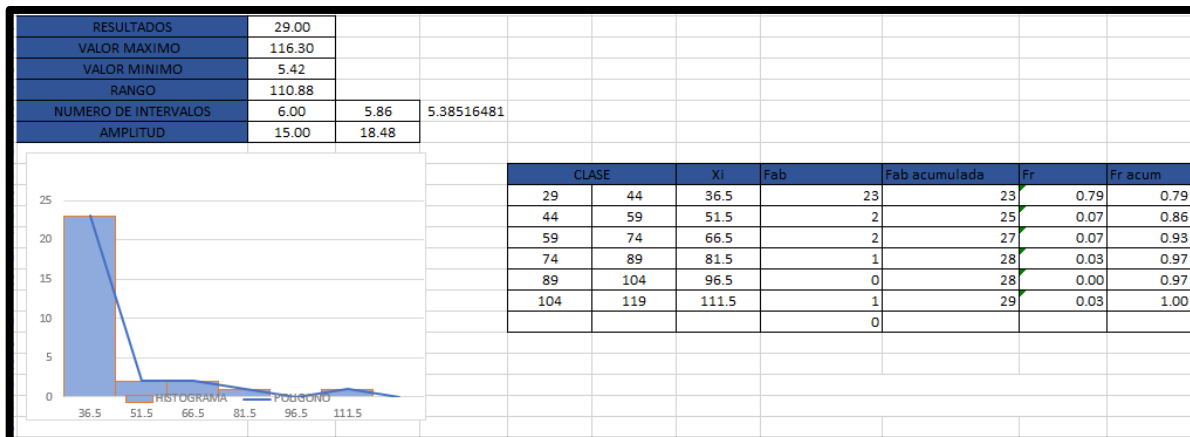
Para llevar a cabo un análisis utilizando el método de Saaty en Excel, es esencial construir una tabla de frecuencias que contenga las variables de pendiente y altitud. Esta tabla permitirá organizar y registrar las observaciones correspondientes a cada unidad de análisis, como puntos de muestreo o áreas geográficas específicas. En la tabla, se incluirán las mediciones de pendiente, ya sea en grados o porcentaje de inclinación, así como la altitud expresada en metros sobre el nivel del mar. Una vez creada la tabla en Excel, se procederá a analizar las frecuencias de los valores de pendiente y altitud. Utilizando herramientas como tablas dinámicas o fórmulas, se calculará la cantidad de observaciones dentro de diferentes rangos de valores para ambas variables. Esta información proporcionará una comprensión detallada de la distribución de la pendiente y la altitud en el área de estudio, lo que facilitará la identificación de patrones significativos que pueden influir en análisis posteriores utilizando el método de Saaty u otras técnicas de toma de decisiones multicriterio.

TABLA 3 Tabla de Frecuencia Altitud



Fuente: Propia

TABLA 4 Tabla de Frecuencia Pendiente



Fuente: Propia

4.3.1.1 Matriz de comparación de pares

La matriz de comparación de pares es una representación estructurada cada elemento de la matriz refleja la importancia relativa de dos criterios en relación entre sí. Los elementos de la matriz suelen ser valores numéricos que indican cuánto más importante es un criterio en comparación con otro. Estos valores se asignan utilizando una escala que refleja la importancia de los factores.

TABLA 5 Criterios de reclasificación

FACTORES CONDICIONANTES	PENDIENTE	GEOMORFOLOGIA	GEOLOGIA
PENDIENTE	1.00	3.00	5.00
GEOMORFOLOGIA	0.33	1.00	3.00
GEOLOGIA	0.2	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

Fuente: Propia

Esta matriz proporciona una estructura cuantitativa para la evaluación de los factores condicionantes en la toma de decisiones, particularmente en relación con fenómenos naturales como las avenidas torrenciales. Los valores asignados en la matriz permiten una comparación sistemática y ponderada de la importancia relativa de cada factor, lo que facilita la toma de decisiones informadas en la gestión de riesgos y la planificación de medidas preventivas.

4.3.1.2 Matriz saaty

La aplicación de la Matriz de Saaty en el análisis de avenidas torrenciales involucra una evaluación técnica y detallada de varios factores clave que influyen en la magnitud y el impacto de estos eventos. Se destacan la pendiente del terreno, la geomorfología, la geología y la altura como elementos fundamentales que requieren una cuidadosa consideración.

- La pendiente del terreno, expresada en grados o porcentaje de inclinación, incide directamente en la velocidad y la dirección del flujo de agua durante una avenida torrencial. Cuanto mayor sea la pendiente, mayor será la velocidad del flujo y mayor será el riesgo de erosión y daños.
- La geomorfología abarca la forma y la estructura del terreno, incluyendo la topografía, la presencia de valles, montañas, y la distribución de cuerpos de agua. Esta característica influye en la distribución espacial de las avenidas torrenciales, así como en la vulnerabilidad de las áreas circundantes.
- La geología es otro factor crítico que determina la capacidad del suelo para retener o infiltrar agua. La composición y la permeabilidad del suelo, así como la presencia de formaciones rocosas, pueden afectar significativamente la capacidad de absorción y la velocidad de escorrentía durante una inundación.
- La altura del terreno, medida en relación con el nivel del mar o con respecto a otros puntos de referencia, contribuye a la generación de energía potencial

gravitacional. Las diferencias de altura pueden intensificar o mitigar los efectos de las inundaciones al influir en la rapidez y la dirección del flujo de agua.

1. PRIMERO DEBEMOS IDENTIFICAR Y CARACTERIZAR LA AMENAZA, para el caso la amenaza son las avenidas torrenciales. Estas se analizan teniendo en cuenta los cambios de pendiente, por lo tanto, van de la mano del análisis de peligros o amenazas por algún proceso de remoción en masa. Debo definir los factores condicionantes y los desencadenantes con los factores de evaluación. (TORRES CLARA, 2024)
2. Añadir los pesos de nuestros factores condicionantes y desencadenantes. Luego en Arc-Gis trabajaremos con nuestra capa de insumos para elaborar primero el mapa de susceptibilidad y segundo el mapa de amenaza. (TORRES CLARA, 2024)
3. Realizar el mapa de pendiente teniendo en cuenta esta clasificación:

PENDIENTE EN %
0-5
5-15
15- 25
25 - 45
> 45

- Revise que en la tabla de atributos aparezca algo similar a esto:
Este mapa que se muestra aquí no es el de la zona, obviamente.

FIGURA 20 Mapa de pendientes Saaty



Fuente: (TORRES CLARA, 2024)

- Debo identificar los factores condicionantes de la amenaza que estoy analizando, es decir, los factores intrínsecos, in situ de la zona, para el caso corresponde a: La pendiente, La Geología, la geomorfología, la cobertura vegetal. En nuestro caso serían, la pendiente, la geología y la geomorfología principalmente, si vamos a analizar desde el punto de vista de la topografía. (TORRES CLARA, 2024)
- De igual manera, debo identificar los factores desencadenantes, son aquellos que detonan o son el origen de una determinada amenaza. Por ejemplo, las precipitaciones. (TORRES CLARA, 2024)
- Los parámetros de evaluación si son variables, dependen y varían de acuerdo a cada amenaza que se esté evaluando. Por ejemplo, en un deslizamiento se evalúa el tiempo de retorno, el caso de las inundaciones igual. (TORRES CLARA, 2024)

- **TRABAJAR CON EL SOFTWARE**

- A. Determinar los factores condicionantes, para este caso de avenida torrencial, se trabaja similar a un proceso de remoción en masa como un deslizamiento, ya que la pendiente es clave. Los factores condicionantes serán: Pendiente, Geomorfología y Geología.
- B. Teniendo claro cuáles son los factores condicionantes, se aplica la matriz de Saaty y se estiman los pesos, realizando la matriz de comparación de pares del parámetro de factores condicionantes y la matriz de normalización de pares de los factores condicionantes.

Se debe establecer una escala de comparación: La matriz de Saaty utiliza una escala de comparación para evaluar la importancia relativa de los criterios. Generalmente se usa una escala de 1 a 9, donde:

- 1: Igual importancia
- 3: Moderadamente más importante
- 5: Fuertemente más importante
- 7: Muy fuertemente más importante
- 9: Absolutamente más importante

TABLA 6 Factores condicionantes

Matriz de comparación de pares del parámetro de factores condicionantes			
FACTORES CONDICIONANTES	Pendiente	Geomorfología	Cobertura vegetal
Pendiente	1,00	3,00	5,00
Geomorfología	0,33	1,00	3,00
Cobertura vegetal	0,20	0,33	1,00
SUMA	1,53	4,33	9,00
1/SUMA	0,65	0,23	0,11
Al analizar los factores condicionantes: la pendiente tiene más peso que la geomorfología y que la cobertura vegetal y la geomorfología más peso que la cobertura			
La relación geomorfología pendiente, es 1/3.0, es decir, 1/ peso dado.			

Fuente: (TORRES CLARA, 2024)

TABLA 7 Factores condicionantes

Matriz de Normalización de pares de los factores condicionantes					
	Pendiente	Geomorfología	Cobertura vegetal	Vector Priorización	%
Pendiente	0,65	0,69	0,56	0,63	63
Geomorfología	0,22	0,23	0,33	0,26	26
Cobertura vegetal	0,13	0,08	0,11	0,11	11
				1,00	100
Se multiplica el valor de cada parámetro por columnas por el valor de 1/suma por columna. La constante que es 1/suma, se escribe entre el signo dólar para el primer valor, luego simplemente se arrastra.					

Fuente: (TORRES CLARA, 2024)

Esta es la información que más interesa aquí, la obtenida en la matriz de normalización de pares de los factores condicionantes, principalmente relacionada con el vector de priorización, debido a que estos valores son los que se ingresan al software Arc-Gis. (TORRES CLARA, 2024)

IMPORTANTE: La suma de todos los valores de vectores de priorización para cada matriz es siempre igual a 1.0.

De acuerdo con la anterior matriz de normalización, el factor condicionante más importante es la pendiente, para la amenaza que estamos estudiando (avenidas torrenciales), la estamos analizando, desde el hecho que puede desatar un proceso de remoción en masa como lo es un deslizamiento. (TORRES CLARA, 2024)

Los factores condicionantes en orden después de la pendiente serán la geomorfología, ya que necesitamos conocer las geoformas que están relacionadas con el proceso de avenida torrencial. (TORRES CLARA, 2024)

Y finalmente la Geología, con un menor peso, donde estarán implicadas las unidades geológicas presentes. Los shp que se necesitarán serán los de estos tres factores: el de pendiente, el de geomorfología y el de geología. Finalmente se obtiene la matriz de Consistencia:

TABLA 8 Factores condicionantes

Matriz de Relación de consistencia pares de los factores condicionantes					
	Pendiente	Geomorfología	Cobertura vegetal	Vector suma ponderada	suma/sum prom (λmax)
Pendiente	0,63	0,78	0,53	1,95	3,072
Geomorfología	0,21	0,26	0,32	0,79	3,033
Cobertura vegetal	0,13	0,09	0,11	0,32	3,011
				SUMA	9,116
				PROMEDIO	3,039

Fuente: (TORRES CLARA, 2024)

Se obtiene el índice de consistencia y la relación de consistencia:

IC = 0.019

RC= 0,037

Se analiza el primer factor condicionante: Pendiente, se aplica la matriz de SAATY. Se consideran aquí 5 rangos de pendiente como se observa a continuación, así como vamos a considerar 5 rangos de geomorfología y 5 de Cobertura. Esto debido a que esto está relacionado con los niveles de riesgo, amenaza y vulnerabilidad que vamos a obtener. Entonces al considerar 5 parámetros con el objetivo de obtener 4 niveles de amenaza, igual para la vulnerabilidad y para el riesgo.

Se podrían usar más, pero por conveniencia para el estudio, lo ideal es 5.

En conclusión, en el software ArcGis, se van a ingresar tres factores condicionantes y cada uno de ellos va a tener 5 parámetros.

(TORRES CLARA, 2024)

TABLA 9 Matriz de Saaty del parámetro Pendiente

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO PENDIENTE							
Matriz de Normalización de pares del parámetro pendiente							
PENDIENTE	>45%	25-45%	15-25%	5-15%	0-5%	Vector Priorización	%
Muy alta (>45%)	0,55	0,64	0,52	0,39	0,38	0,50	49,62
Alta (25-45%)	0,18	0,21	0,31	0,33	0,25	0,26	25,75
Moderada (15-25%)	0,11	0,07	0,10	0,20	0,21	0,14	13,80
Baja (5-15%)	0,09	0,04	0,03	0,07	0,13	0,07	7,20
Muy baja (0-5%)	0,06	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	3,62
						SUMA	1,00
							100,00

Matriz de Relación de consistencia de pares del parámetro pendiente							
PENDIENTE	>45%	25-45%	15-25%	5-15%	0-5%	Vector suma ponderada	suma/sum prom (λ_{max})
Muy alta (>45%)	0,50	0,77	0,69	0,43	0,33	2,72	5,47
Alta (25-45%)	0,17	0,26	0,41	0,36	0,22	1,41	5,49
Moderada (15-25%)	0,10	0,09	0,14	0,22	0,18	0,72	5,22
Baja (5-15%)	0,08	0,05	0,05	0,07	0,11	0,36	5,02
Muy baja (0-5%)	0,06	0,04	0,03	0,02	0,04	0,19	5,13
						SUMA	26,33
						PROMEDIO	5,27

Indice de consistencia	IC= promedio λ_{max} - número de parámetros/ #parámetros-1	
	El número de descriptores son 5	0,27
	#parámetros - 1 = 4	4
	IC = 5,27 - 5 / 4	IC= 0,27/4
	0,0675	
Relación de Consistencia	RC= IC/IA, donde IA es el índice aleatorio	
	Para este caso, el IA= 1.115 el valor para 5 parámetros	1.115
	RC= 0,0675/1.115	
	RC= 0,06	Este valor debe ser menor a 0,1, por lo tanto, es correcto

Fuente: (TORRES CLARA, 2024)

TABLA 10 Matriz de Saaty del parámetro geomorfología

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO GEOMORFOLOGÍA					
Geomorfología	Piedemonte coluv	Fuvióerosional	Estructural denuta.	Valle aluvial	Glaci-fluvial
Piedemonte coluvial	1,00	2,00	3,00	5,00	7,00
Fluvióerosional	0,50	1,00	2,00	3,00	5,00
Estructural denudativo	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00
Valle aluvial	0,20	0,33	0,50	1,00	2,00
Montañoso glaci-fluvial	0,14	0,20	0,33	0,50	1,00
SUMA	2,18	4,03	6,83	11,50	18,00
1/SUMA	0,46	0,25	0,15	0,09	0,06

Matriz de Normalización de pares del parámetro GEOMORFOLOGÍA							
Geomorfología	Piedemonte coluv	Fuvióerosional	Estructural denuta.	Valle aluvial	Glaci-fluvial	Vector Priorización	%
Piedemonte coluvial	0,460	0,50	0,44	0,43	0,39	0,44	44,36
Fluvióerosional	0,230	0,25	0,29	0,26	0,28	0,26	26,18
Estructural denudativo	0,153	0,12	0,15	0,17	0,17	0,15	15,28
Valle aluvial	0,092	0,08	0,07	0,09	0,11	0,09	8,92
Montañoso glaci-fluvial	0,066	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05	5,26
					SUMA	1,00	100,00

Matriz de Relación de consistencia de pares del parámetro GEOMORFOLOGÍA							
Geomorfología	Piedemonte coluv	Fuvióerosional	Estructural denuta.	Valle aluvial	Glaci-fluvial	Vector suma ponderada	suma/sum prom (λmax)
Piedemonte coluvial	0,44	0,52	0,46	0,45	0,37	2,24	5,05
Fluvióerosional	0,22	0,26	0,31	0,27	0,26	1,32	5,04
Estructural denudativo	0,15	0,13	0,15	0,18	0,16	0,77	5,02
Valle aluvial	0,09	0,09	0,08	0,09	0,11	0,45	5,01
Montañoso glaci-fluvial	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,26	5,02
						suma	25,14
						promedio	5,03

# parámetros= 5	IC= índice de consistencia= 0,03/4	0,03
Se considera: 5-1 = 4		4
	IC= 0,0075	0,0075
Factores= 5		
Se considera: Promedio-#factores		
Promedio - #factores= 5,03 - 5 = 0,03		
RC= Relación de consistencia		
IC/IA, siendo IA= índice aleatorio, que para 5 parámetros = 1.115		1,115
		0,006726457
	RC= 0,0075/1,115	
	RC= 0,0067	

Fuente: (TORRES CLARA, 2024)

TABLA 11 Matriz de saaty del parámetro cobertura

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO COBERTURA							
COBERTURA	Agua	Suelo desnudo	Pastizales	Area construida	Árboles		
Agua	1,00	2,00	3,00	5,00	7,00		
Suelo desnudo	0,50	1,00	2,00	3,00	5,00		
Pastizales	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00		
Area construida	0,20	0,33	0,50	1,00	2,00		
Arboles	0,14	0,20	0,33	0,50	1,00		
SUMA	2,18	4,03	6,83	11,50	18,00		
1/SUMA	0,46	0,25	0,15	0,09	0,06		
Matriz de Normalización de pares del parámetro Cobertura							
COBERTURA	Agua	Suelo desnudo	Pastizales	Area construida	Árboles	Vector Priorización	%
Agua	0,46	0,50	0,44	0,43	0,39	0,44	44
Suelo desnudo	0,23	0,25	0,29	0,26	0,28	0,26	26
Pastizales	0,15	0,12	0,15	0,17	0,17	0,15	15
Area construida	0,09	0,08	0,07	0,09	0,11	0,09	9
Arboles	0,07	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05	5
					SUMA	1,00	100

Matriz de Relación de consistencia de pares del parámetro GEOMORFOLOGÍA							
COBERTURA	Agua	Suelo desnudo	Pastizales	Area construida	Árboles	Vector suma ponderada	suma/sum prom (λ_{max})
Agua	0,44	0,52	0,46	0,45	0,37	2,240	5,049
Suelo desnudo	0,22	0,26	0,31	0,27	0,26	1,320	5,041
Pastizales	0,15	0,13	0,15	0,18	0,16	0,768	5,024
Area construida	0,09	0,09	0,08	0,09	0,11	0,447	5,011
Arboles	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,264	5,015
						SUMA	25,14
						PROMEDIO	5,028

IC=	0,007
RC= IC/IA	
RC=0.0062	

Fuente: (TORRES CLARA, 2024)

TABLA 12 Matriz de saaty del parámetro precipitaciones

Matriz de Relación de consistencia de pares del parámetro GEOMORFOLOGÍA							
PRECIPITACIÓN	>160%	S120	S80	S40	S0	Vector suma ponderada	suma/sum prom (λ_{max})
> 160%	0,42	0,52	0,48	0,394	0,312	2,13	5,12
120-160% Superior a su normal climático (S120)	0,21	0,26	0,32	0,296	0,250	1,34	5,11
80-120% Superior a su normal climático (S80)	0,14	0,13	0,16	0,197	0,187	0,81	5,06
40-80% Superior a su normal climático (S40)	0,10	0,09	0,08	0,099	0,125	0,50	5,02
0-40% superior a su normal climático(S0)	0,08	0,07	0,05	0,049	0,062	0,31	5,03
						SUMA	25,34
						PROMEDIO	5,07
Matriz de Normalización de pares del parámetro Precipitación							
PRECIPITACIÓN	>160%	S120	S80	S40	S0	Vector Priorización	%
> 160%	0,44	0,49	0,44	0,38	0,33	0,42	42
120-160% Superior a su normal climático (S120)	0,22	0,24	0,29	0,29	0,27	0,26	26
80-120% Superior a su normal climático (S80)	0,15	0,12	0,15	0,19	0,20	0,16	16
40-80% Superior a su normal climático (S40)	0,11	0,08	0,07	0,10	0,13	0,10	10
0-40% superior a su normal climático(S0)	0,09	0,06	0,05	0,05	0,07	0,06	6
					SUMA	1,00	100
MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO PRECIPITACIÓN							
PRECIPITACIÓN	>160%	S120	S80	S40	S0		
> 160%	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00		
120-160% Superior a su normal climático (S120)	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00		
80-120% Superior a su normal climático (S80)	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00		
40-80% Superior a su normal climático (S25)	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00		
0-40% superior a su normal climático(S20)	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00		
SUMA	2,28	4,08	6,83	10,50	15,00		
1/SUMA	0,438	0,245	0,146	0,095	0,067		

Fuente: (TORRES CLARA, 2024)

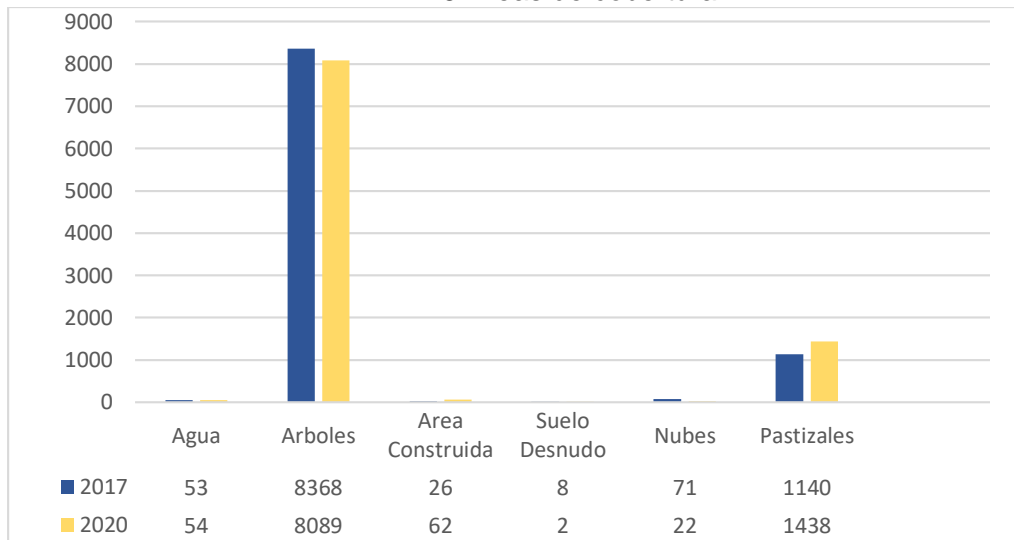
4.3.2. INTERPRETACIÓN DE COBERTURAS Y BITEMPORALIDAD

4.3.2.1 Coberturas

Mediante el análisis de cobertura terrestre Land-Cover el cual permite observar de manera agrupada, diferentes parámetros divididos en clases las cuales ayudan a visualizar en los mapas las zonas y como están distribuidas en ellas, utilizando información de 2 periodos diferentes con los mismos parámetros podemos lograr visualizar los cambios de coberturas y sus clases en el transcurso del tiempo en este caso podemos visualizar los cambios en cobertura vegetal y cómo los asentamientos han crecido entre los lapsos de tiempo , gracias a ello se puede evidenciar el cambio en el paisaje y deducir como el estado del clima y la topografía de la zona influyen en zonas de riesgo por avenidas torrenciales y cómo los asentamientos se pueden ver afectados .

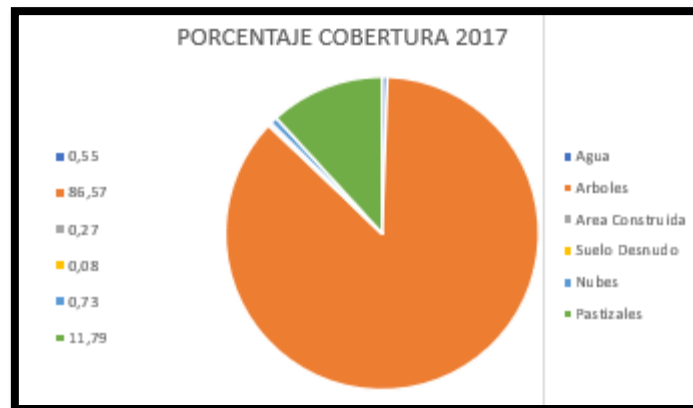
En la tabla 3 se quiso hacer una representación gráfica de la comparación de cobertura por hectáreas (Ha) esto para conocer cuáles han sido los cambios en el área de las diferentes coberturas que se encontraron en la zona de estudio, esto ayuda a entender el comportamiento que ha tenido el suelo debido a los cambios que se han efectuado en este intervalo de años ya sean cambios hecho por la mano del hombre o por procesos naturales presentes.

TABLA 13 Áreas de cobertura



Fuente: Propia

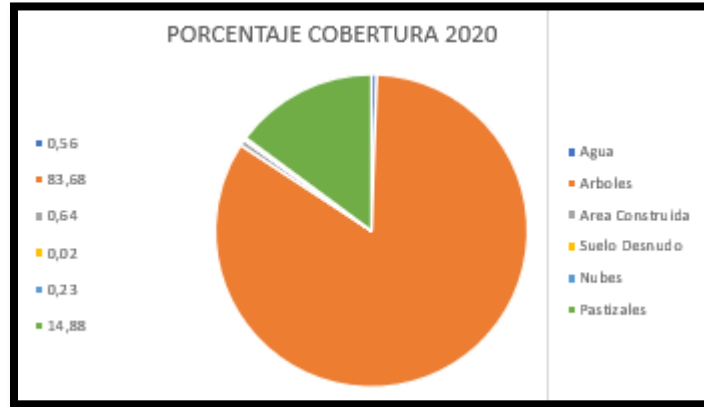
FIGURA 21 Porcentaje cobertura 2017



Fuente: Propia

Este grafico es una representación más detallada de la cantidad de coberturas presentes en el año 2017 mostrando valores en porcentaje para tener una idea de la cantidad de arrea predominante en la zona de estudio.

FIGURA 22 Porcentaje cobertura 2020

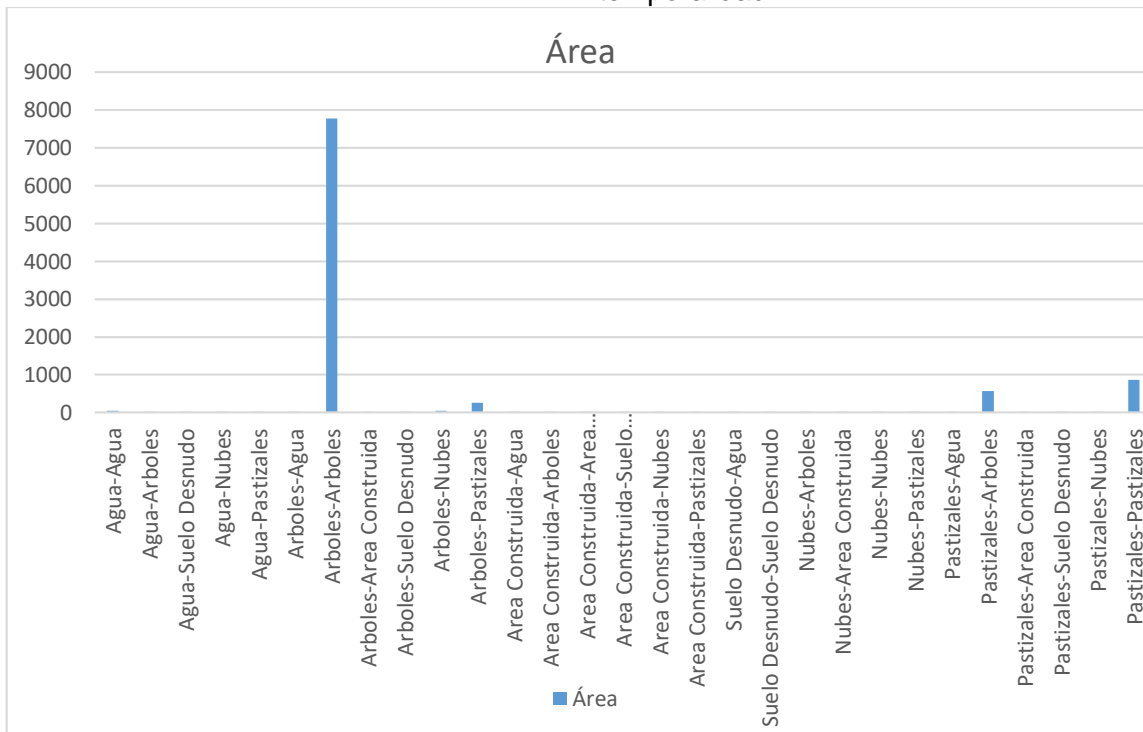


Fuente: Propia

Este grafico es una representación más detallada de la cantidad de coberturas presentes en el año 2020 mostrando valores en porcentaje para tener una idea de la cantidad de arrea predominante en la zona de estudio.

4.3.2.2 Bitemporalidad

TABLA 14 Bitemporalidad



Fuente: Propia

La bitemporalidad se hizo porque se quiere conocer que cambio han sufrido las coberturas del suelo en estos lapsos de tiempo y ayuda a evidenciar que cambios de cobertura son los presentes en el área de estudio además de mostrar que zonas son las más propensas y generen un evento que para esta investigación es una avenida torrencial, finalmente la bitemporalidad obtenida y los cambios que se pueden visualizar entre la cobertura del año 2020 y el año 2017 entre los parámetros agua, arboles, suelo desnudo, pastizales, áreas construidas, las que más resaltan son el cambio entre agua, arboles, suelos desnudos, pastizales por áreas construidas evidenciando el aumento de asentamientos en estas zonas, algunas zonas en las cuales el parámetro agua ha evidenciado cubrimiento de zonas de pastizales y arboles posiblemente por aumentos en los caudales naturales así mismo se evidencia el posible disminución en otras zonas de agua por pastizales, árboles y áreas construidas, y el parámetro nubes se sigue evidenciando en el estudio por alta nubosidad en las fotografías después de la corrección,

4.3.3. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS AFECTADAS POR AVENIDA TORRENCIAL

Las avenidas torrenciales, fenómeno hidrometeorológico caracterizado por intensas lluvias concentradas en cortos periodos, representan un desafío significativo en la gestión de riesgos naturales. En la microcuenca del río Tona, estas avenidas adquieren una importancia particular, dada su capacidad para desencadenar inundaciones repentinas y alterar drásticamente el entorno fluvial.

La magnitud de las avenidas torrenciales en esta región se refleja en la extensión de áreas afectadas, con un aproximado de 179 hectáreas una cifra que revela la impactante dimensión del fenómeno. El área afectada se convierte en un indicador clave para evaluar el alcance de las consecuencias de estas avenidas torrenciales.

El porcentaje de identificación de zonas afectadas por avenidas torrenciales en la microcuenca del río Tona. Este indicador revela la proporción del territorio total que se ve influenciado por las lluvias torrenciales, proporcionando una visión relativa de la vulnerabilidad de la región frente a este fenómeno.

4.3.3.1 Susceptibilidad ante avenidas torrenciales: El papel de la pendiente del terreno y la red hídrica

La relación entre la pendiente del terreno y la probabilidad de avenidas torrenciales es un factor crucial en la evaluación de riesgos asociados a eventos hidrometeorológicos extremos. En términos generales, la mayor inclinación del terreno aumenta significativamente la probabilidad de avenidas torrenciales, dado que la velocidad del flujo de agua se ve considerablemente incrementada en

terrenos con pendientes pronunciadas. Esto conlleva a una mayor erosión del suelo y la formación de flujos de agua más rápidos y violentos.

La presencia de redes hidrográficas, como canales, tuberías y sistemas de drenaje, puede influir en estos eventos. Estas estructuras, al cortar la pendiente natural del terreno, aceleran el flujo de agua y aumentan su capacidad de transporte. Esto se traduce en un aumento en la velocidad y el volumen de las avenidas torrenciales, ya que las estructuras hidráulicas canalizan el agua de manera más eficiente y concentrada.

Es fundamental tener en cuenta que estos eventos están estrechamente relacionados con períodos de precipitaciones intensas. Durante estos episodios, la cantidad de agua que llega al suelo aumenta significativamente, lo que puede saturar el terreno y desencadenar deslizamientos de tierra y remociones en masa. Esta combinación de factores, alta pendiente, presencia de redes hídricas y precipitaciones intensas, crea condiciones propicias para la ocurrencia de avenidas torrenciales y eventos de remoción en masa, representando así un riesgo sustancial para las poblaciones ubicadas en áreas vulnerables.

Por lo tanto, es crucial implementar medidas de prevención y mitigación, tales como la planificación urbana adecuada, la conservación de suelos y vegetación, y la construcción de infraestructuras hidráulicas resilientes, con el fin de reducir los impactos de estos eventos extremos y proteger la vida y los bienes de las comunidades afectadas.

El análisis de vulnerabilidad y riesgo en áreas propensas a avenidas torrenciales se fundamenta en la interacción entre la pendiente del terreno y la red hídrica circundante. Las zonas con mayor pendiente son inherentemente más vulnerables a la ocurrencia de avenidas torrenciales, ya que la topografía inclinada facilita el rápido desplazamiento del agua y aumenta el riesgo de erosión del suelo. En los mapas de riesgo de avenidas torrenciales, estas áreas de alta pendiente suelen estar identificadas como las de mayor vulnerabilidad.

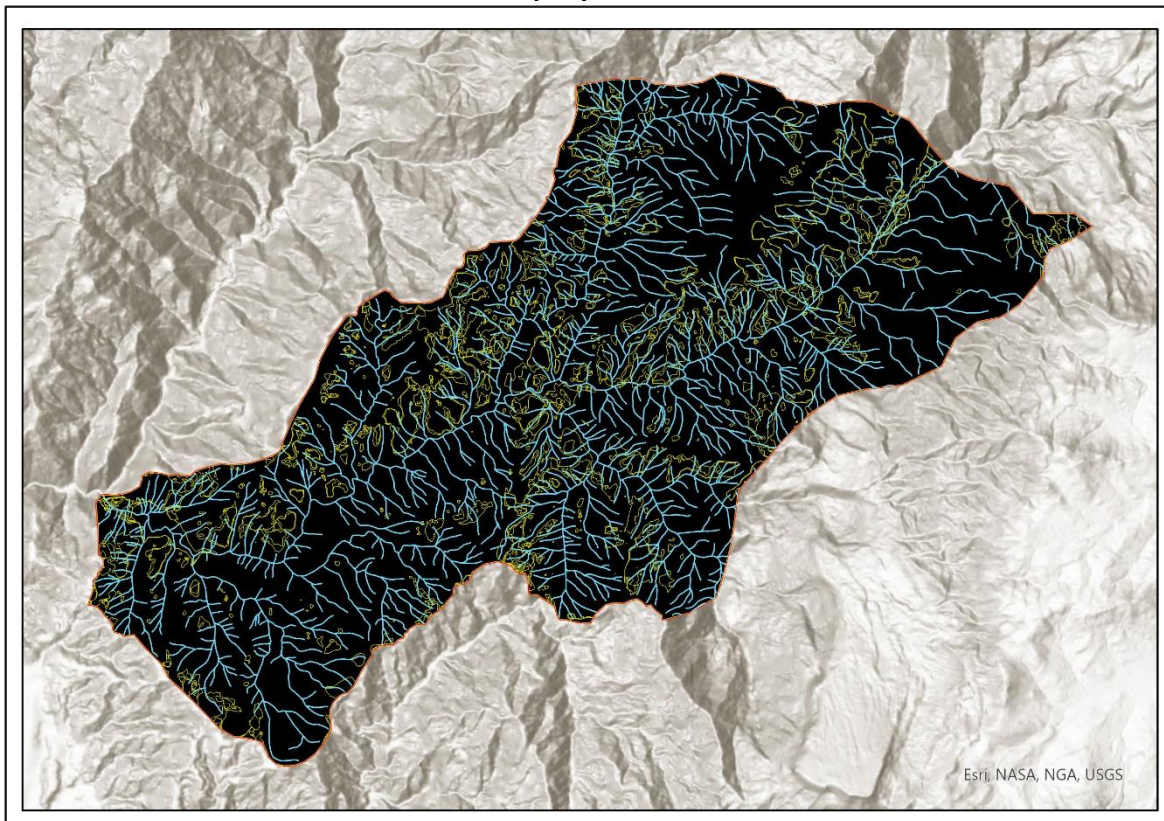
Las zonas con menor pendiente, particularmente aquellas cercanas a la red hídrica, pueden presentar una menor vulnerabilidad a las avenidas torrenciales. La topografía más plana dificulta el rápido desplazamiento del agua y reduce el riesgo de erosión. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en estas áreas la vulnerabilidad puede no ser tan alta en términos de avenidas torrenciales, pero aumenta la probabilidad de inundaciones, especialmente durante eventos de precipitación intensa o prolongada.

La evaluación de riesgos asociados a avenidas torrenciales, es esencial considerar no solo la pendiente del terreno, sino también la proximidad a la red hídrica y la susceptibilidad a inundaciones. Este enfoque integral permite una comprensión más precisa de las áreas de mayor riesgo y la implementación efectiva de medidas de mitigación y adaptación para proteger a las comunidades vulnerables y reducir el impacto de estos eventos hidrometeorológicos extremos.

4.3.3.2 Drenajes y cambios de cobertura

En este aspecto se pudo evidenciar que los cambios de cobertura que se presentan en la zona de estudio están presentes principalmente alrededor de los drenajes que conforman la cuenca media y baja del río Tona, esto da a evidenciar que en esas zonas se pueden presentar diferentes tipos de erosiones causando posteriormente inminentes deslizamientos que, sumados con las condiciones topográficas y meteorológicas de la zona son un aspecto importante a tener en cuenta para un estudio de avenida torrencial, debido a que son un aporte para que se presente un evento de torrencialidad en la cuenca media y alta del río Tona.

FIGURA 23 Drenajes y cambios de cobertura



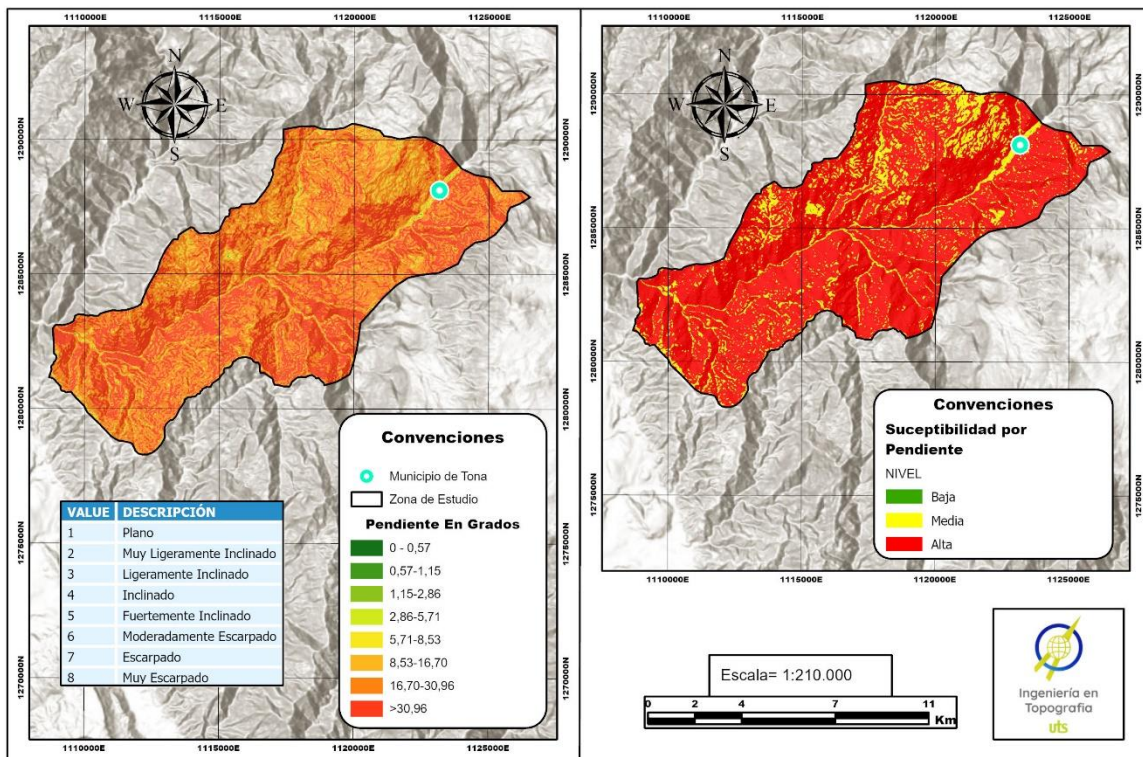
Fuente: Propia

5. RESULTADOS

5.1. MAPA DE PENDIENTES

Un mapa de pendientes sirve para representar de manera gráfica y con datos los cambios de pendientes que se tiene en un territorio que, para nuestro caso fue para la zona de estudio y nos ayudó a ver el comportamiento y las variaciones de pendiente presentes, dado que uno de los aspectos importantes del proyecto son las pendientes siendo una de las variables más importantes de nuestro análisis y fue necesario realizar el procesamiento para llegar a la representación de las pendientes correspondientes a la cuenca media y baja del río Tona.

FIGURA 24 Mapa de pendientes



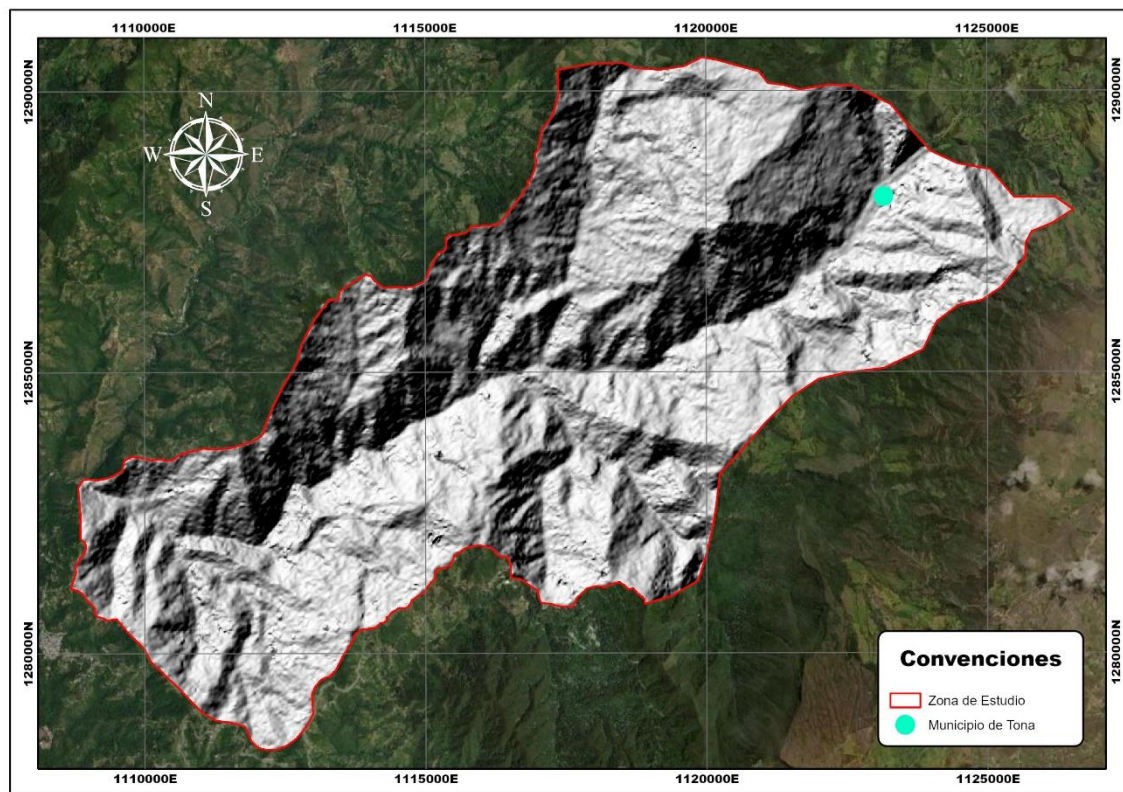
Fuente: Propia

Con este mapa de pendientes queremos corroborar con respecto a las avenidas torrenciales el comportamiento y las diferentes pendientes presentes en el área de estudio lo cual ayuda a identificar la zona donde es más probable que ocurran avenidas torrenciales y comprobando que las pendientes son una variable que representan un aspecto de gran relevancia para que se genere un evento de avenida torrencial que para este caso se hizo el análisis en la microcuenca del río Tona.

5.2. MAPA DE SOMBRAS

Un mapa de sombras o Hillshade es el resultado de un proceso derivado de un archivo DEM, que sirve para mostrar la superficie del terreno por medio del sobrado de laderas que permite identificar las variaciones del terreno, gracias al mapa de sombras junto con el mapa de pendientes se puede hacer un superposición de las capas y observar tanto los cambios de pendiente como los cambios de la superficie del terreno que, posteriormente nos ayuda a analizar e identificar más fácil las condiciones que se presentan en nuestra zona de estudio.

FIGURA 25 Mapa de sombras

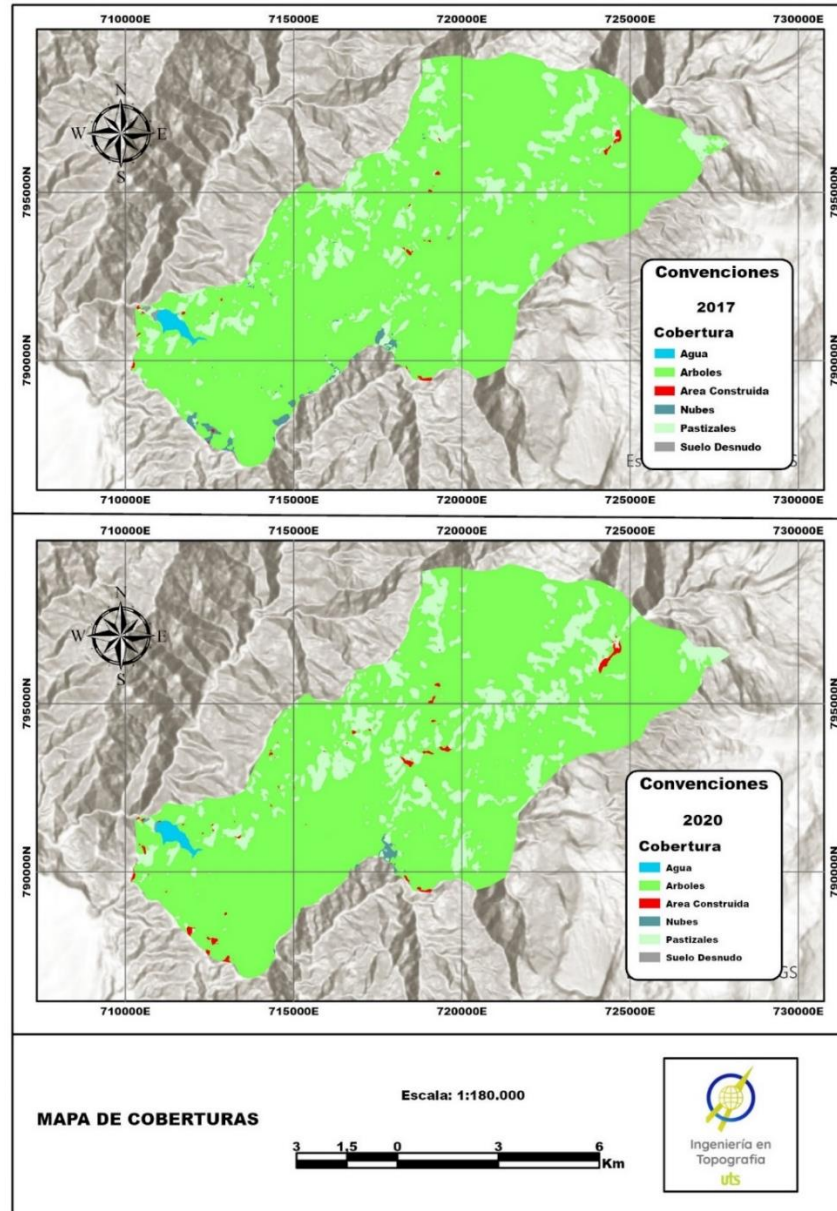


Fuente: Propia

Un mapa de sombras permite ver más fácilmente las inclinaciones que hay en el terreno de un área específica que, junto al mapa de pendientes se hace una superposición de estas dos capas y permite identificar de manera más detallada los cambios de pendientes del área de estudio donde se evalúa y analiza esta variable debido a que es un aspecto importante a tener en cuenta debido a que es una variable de gran relevancia para que se genere una avenida torrencial.

5.3. MAPA DE COBERTURAS

FIGURA 26 Mapa de coberturas



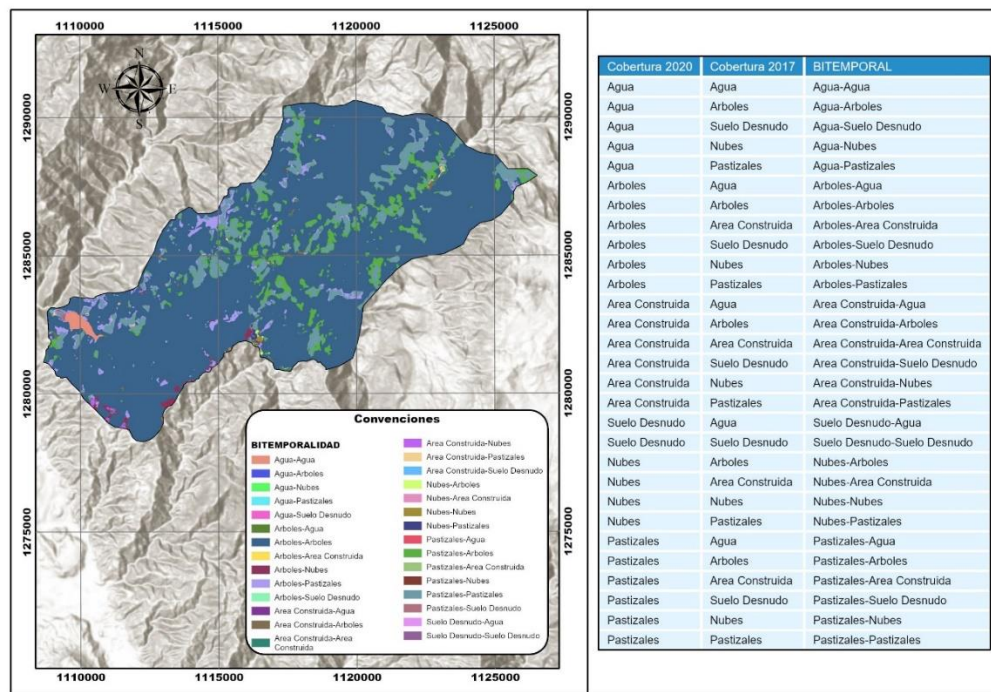
Fuente: Propia

El mapa de cobertura se utilizó en el área de estudio donde podemos visualizar entre dos lapsos de tiempo la siguiente cobertura, se analizaron 7 parámetros entre ellos los más importantes agua, árboles, áreas construidas, suelos desnudos y pastizales, las zonas hídricas cuentan con una variación muy leve de disminución,

los árboles se nota una gran disminución dada a convertirse en pastizales los cuales hay aumentado, las áreas de construcción han aumentado, expandiéndose los asentamientos encontrados en algunas zonas aparecen nubes otro parámetro el cual quedó después de la corrección de las fotografías por una alta nubosidad en la misma.

5.4. MAPA DE BITEMPORALIDAD

FIGURA 27 Mapa de Bitemporalidad



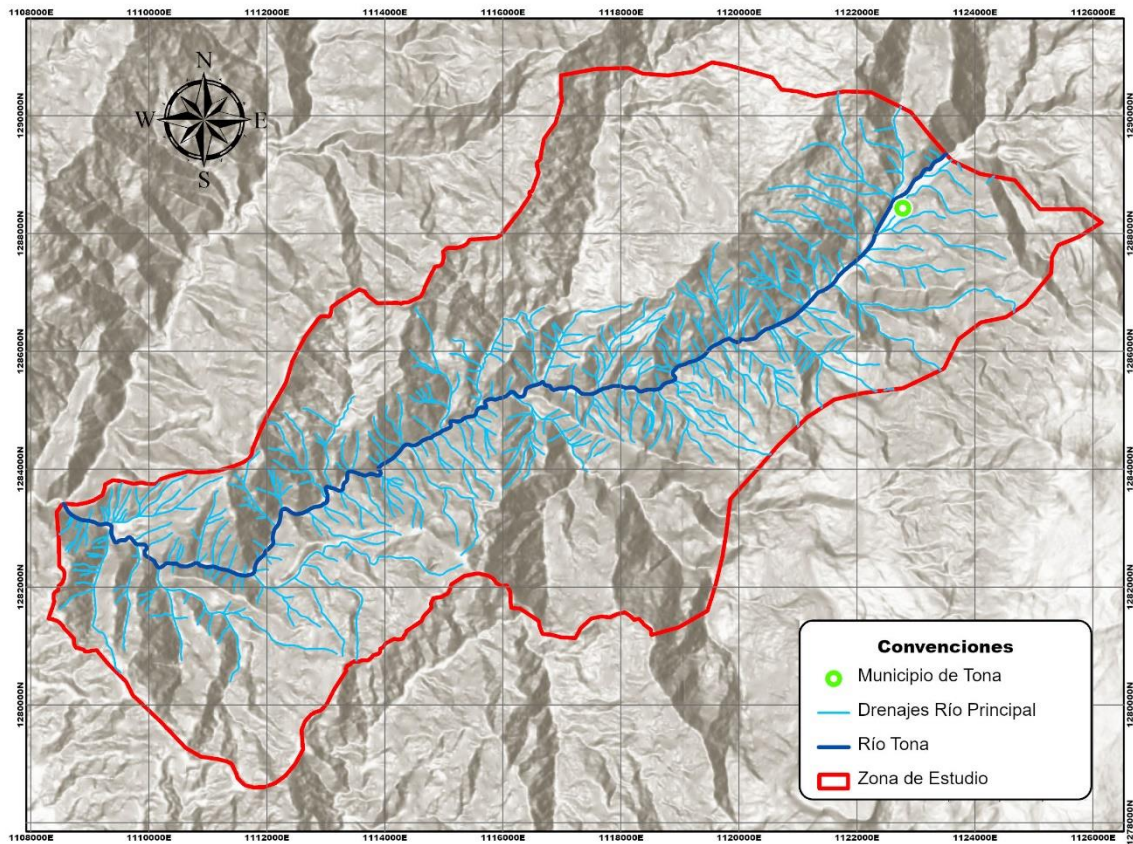
Fuente: Propia

La bitemporalidad obtenida y los cambios que se pueden visualizar entre la cobertura del año 2020 y el año 2017 entre los parámetros agua, arboles, suelo desnudo, pastizales, áreas construidas, las que más resaltan son el cambio entre agua, arboles, suelos desnudos, pastizales por áreas construidas evidenciando el aumento de asentamientos en estas zonas, algunas zonas en las cuales el parámetro agua ha evidenciado cubrimiento de zonas de pastizales y arboles posiblemente por aumentos en los caudales naturales así mismo se evidencia el posible disminución en otras zonas de agua por pastizales, árboles y áreas construidas, y el parámetro nubes se sigue evidenciando en el estudio por alta nubosidad en las fotografías después de la corrección.

5.5. MAPA DE DRENAJE

El análisis del mapa de drenaje de la subcuenca del río Tona ha revelado una red hidrográfica bien definida y organizada. El eje principal del drenaje, que se extiende a lo largo del curso principal del río Tona, muestra una destacada influencia en la configuración general del sistema fluvial. Este eje actúa como una columna vertebral que dirige el flujo de agua y organiza la distribución de los drenajes secundarios en la subcuenca. Además, se observa una red de drenajes principales que convergen hacia el río Tona, indicando la relevancia de estos cursos de agua en la recolección y evacuación de las aguas superficiales. Estos drenajes principales, junto con el eje principal del río, constituyen la infraestructura natural que sustenta el funcionamiento hidrológico de la subcuenca. El análisis detallado de esta red de drenaje proporciona una comprensión integral de la dinámica hidrográfica de la región, fundamental para la gestión adecuada de los recursos hídricos y la planificación del uso del suelo en la cuenca del río Tona.

FIGURA 28 Mapa de Drenajes

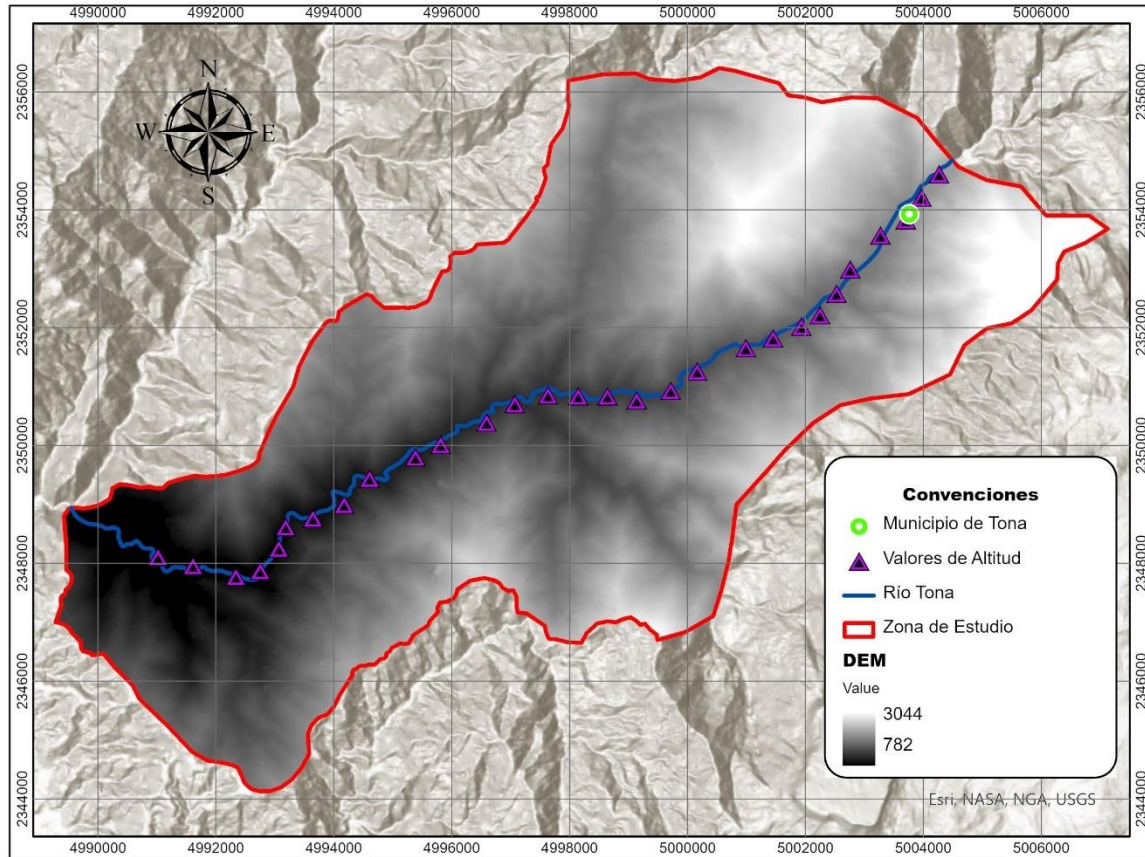


Fuente: Propia

5.6. MAPA DE ALTURAS

El mapa de alturas derivado del Modelo Digital del Terreno (DEM) en la microcuenca del río Tona ofrece una representación precisa y detallada de la topografía del área de estudio. Los datos altimétricos fueron recopilados estratégicamente a lo largo del eje principal del río, lo que proporciona una visión exhaustiva de las variaciones de elevación a lo largo de esta vía fluvial central. Este enfoque metodológico garantiza una captura precisa de la elevación en una región de importancia hidrológica y geomorfológica significativa, como lo es el curso principal del río. El análisis de este mapa de alturas permite una evaluación rigurosa de la distribución espacial de las elevaciones, lo cual es esencial para la planificación y gestión de recursos naturales, así como para la evaluación de riesgos asociados con la topografía en la microcuenca del río Tona.

FIGURA 29 Mapa de Altura



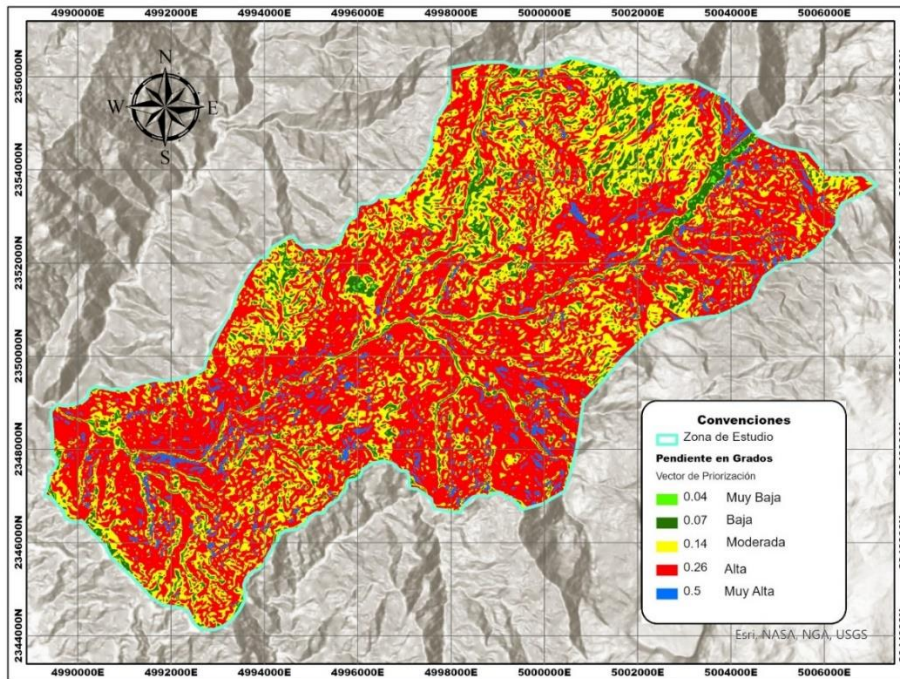
Fuente: Propia

5.7. MAPA DE PENDIENTES METODOLOGIA SAATY

El análisis del mapa de pendientes utilizando la metodología de Saaty arroja resultados significativos en la priorización de áreas según su inclinación topográfica. Se observa que las áreas con pendientes extremadamente altas, excediendo los 45 grados, presentan la máxima prioridad con un vector de priorización de 0.50. Estas zonas son altamente susceptibles a procesos erosivos y deslizamientos de tierra, lo que implica un riesgo significativo para la infraestructura y la seguridad de las poblaciones cercanas. A continuación, se identifican áreas con pendientes altas, en el rango de 25 a 45 grados, las cuales también demandan atención prioritaria con un vector de 0.26. Estas regiones presentan desafíos similares en términos de estabilidad del suelo y deben ser abordadas con medidas de mitigación adecuadas. En contraste, las pendientes moderadas (15-25 grados) muestran una prioridad de

nivel medio con un vector de 0.14, mientras que las pendientes bajas (5-15 grados) tienen una prioridad relativamente menor con un vector de 0.07. Las áreas con pendientes muy bajas, por debajo de los 5 grados, muestran la menor prioridad con un vector de 0.04. Este análisis proporciona una base técnica sólida para la gestión del riesgo de desastres y la planificación del uso del suelo, permitiendo una asignación eficiente de recursos para la protección de las áreas más vulnerables frente a los peligros asociados con la topografía del terreno.

FIGURA 30 Mapa de pendiente metodología saaty



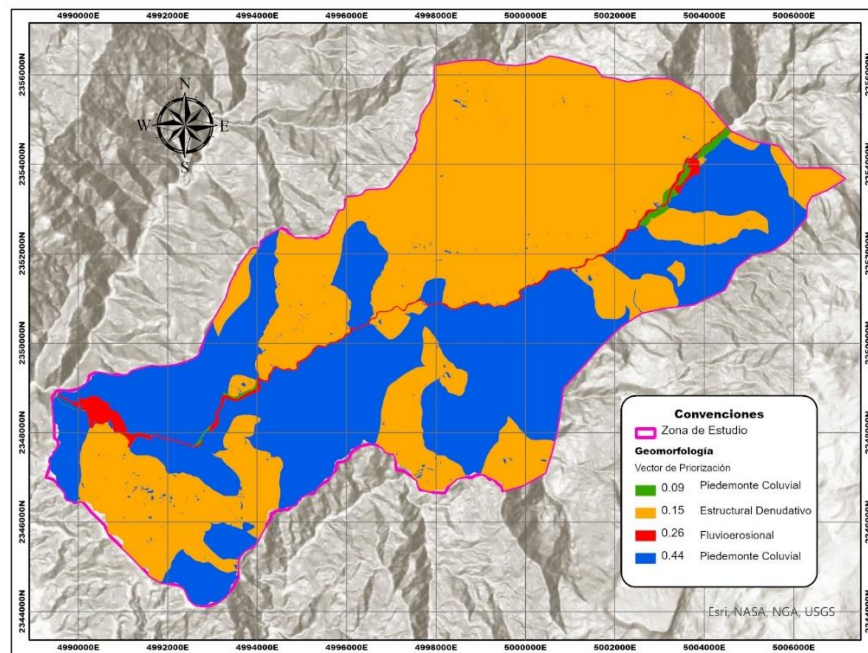
Fuente: Propia

5.8. MAPA DE GEOMORFOLOGIA METODOLOGIA SAATY

El análisis geomorfológico basado en la metodología de Saaty desglosa las prioridades según diferentes factores geomorfológicos, revelando una distribución estratégica en función de su impacto y vulnerabilidad. Se destaca que las áreas de piedemonte coluvial muestran la máxima prioridad, con un vector de priorización de 0.44. Estas regiones son críticas debido a su alta susceptibilidad a procesos erosivos y de sedimentación, representando un riesgo considerable para la infraestructura y los recursos naturales. En segundo lugar, las áreas fluvioerosionales reciben una prioridad significativa, con un vector de 0.26, indicando su importancia en términos de la dinámica fluvial y los riesgos asociados con la erosión hídrica. El factor estructural denudativo sigue en relevancia, con un

vector de 0.15, señalando áreas donde la geología subyacente influye en la erosión y la formación del relieve. Por otro lado, los valles aluviales, con un vector de 0.09, tienen una prioridad algo menor, aunque siguen siendo cruciales en la gestión de recursos hídricos y la prevención de inundaciones. Finalmente, las áreas montañosas glaciafluviales presentan la menor prioridad, con un vector de 0.05, reflejando su menor influencia en los riesgos geomorfológicos inmediatos. Este análisis proporciona una base sólida para la planificación del uso del suelo y la gestión de riesgos asociados con la geomorfología local, permitiendo una asignación eficiente de recursos para la protección y conservación del entorno natural.

FIGURA 31 Mapa de geomorfología metodología saaty



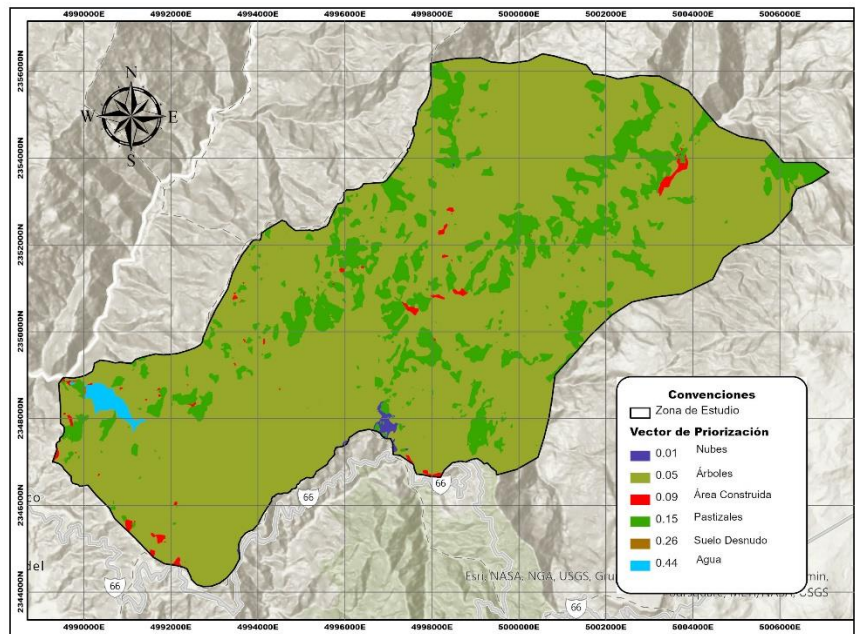
Fuente: Propia

5.9. MAPA DE COBERTURA METODOLOGIA SAATY

El análisis realizado mediante la metodología de Saaty para el mapa de cobertura en la zona de estudio arroja resultados significativos que reflejan la importancia relativa de diferentes tipos de cobertura en el área. Los factores de agua, con un vector de priorización de 0.44, emergen como la categoría de mayor relevancia, indicando su influencia dominante en el ecosistema y la gestión hídrica local. Este hallazgo subraya la necesidad de una protección especial y una gestión cuidadosa de los recursos hídricos en la región. A continuación, el suelo desnudo, con un vector de 0.26, se identifica como otro factor crítico, sugiriendo áreas susceptibles a la erosión y la degradación del suelo que requieren una atención inmediata en

términos de conservación y restauración. Los pastizales, con un vector de 0.15, representan una parte significativa del paisaje, indicando su importancia en la biodiversidad y en la producción ganadera. Las áreas construidas y los árboles, con vectores de 0.09 y 0.05 respectivamente, muestran una prioridad relativamente menor en comparación con los otros factores, lo que refleja su contribución menos significativa al equilibrio ecológico y los servicios ecosistémicos en la región. Este análisis proporciona una base técnica sólida para la toma de decisiones en la gestión del territorio y la conservación de los recursos naturales en el área de estudio.

FIGURA 32 Mapa cobertura metodología saaty



Fuente: Propia

5.1. FACTOR DESENCADENANTE DE AVENIDAS TORRENCIALES

5.1.1. PRECIPITACIONES

De acuerdo con la metodología planteada, el escenario de avenidas torrenciales en la zona circundante al río Tona se define por una precipitación que excede entre un 60% y un 80% su nivel climático normal, con un valor de priorización de 0.42. Dado que estas avenidas se originan principalmente por lluvias intensas y/o prolongadas, optamos por seleccionar el valor más alto del factor desencadenante, que en este caso corresponde a 0.42, descartando los otros valores del vector de priorización.

TABLA 15 Matriz de saaty del parámetro precipitaciones

Matriz de Relación de consistencia de pares del parámetro GEOMORFOLOGÍA							
PRECIPITACIÓN	>160%	S120	S80	S40	S0	Vector suma ponderada	suma/sum prom (λ_{max})
> 160%	0,42	0,52	0,48	0,394	0,312	2,13	5,12
120-160% Superior a su normal climático (S120)	0,21	0,26	0,32	0,296	0,250	1,34	5,11
80-120% Superior a su normal climático (S80)	0,14	0,13	0,16	0,197	0,187	0,81	5,06
40-80% Superior a su normal climático (S40)	0,10	0,09	0,08	0,099	0,125	0,50	5,02
0-40% superior a su normal climático(S0)	0,08	0,07	0,05	0,049	0,062	0,31	5,03
						SUMA	25,34
						PROMEDIO	5,07

Fuente: (TORRES CLARA, 2024)

Es importante destacar que no será necesario realizar una cartografía detallada de precipitación, ya que nuestro escenario se basa en el valor más significativo del factor desencadenante. En cuanto a las recomendaciones, es crucial continuar con el proceso para generar el mapa de amenaza por avenidas torrenciales. Esto implica calcular los valores del factor condicionante, del factor desencadenante, así como la susceptibilidad y el parámetro de evaluación. A partir de estos dos últimos, determinaremos la amenaza y procederemos con el análisis correspondiente de los niveles de riesgo.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) emplea dos enfoques para clasificar las anomalías de precipitación. Según el primer método, se dividen las anomalías en siete intervalos, siendo los valores extremos igualmente espaciados, mientras que el rango correspondiente a las condiciones normales representa solo un 66% del tamaño de los otros intervalos. Este umbral de normalidad (90-110%) se utiliza para monitorear el clima en el país, elaborar pronósticos climáticos y evaluar su precisión.

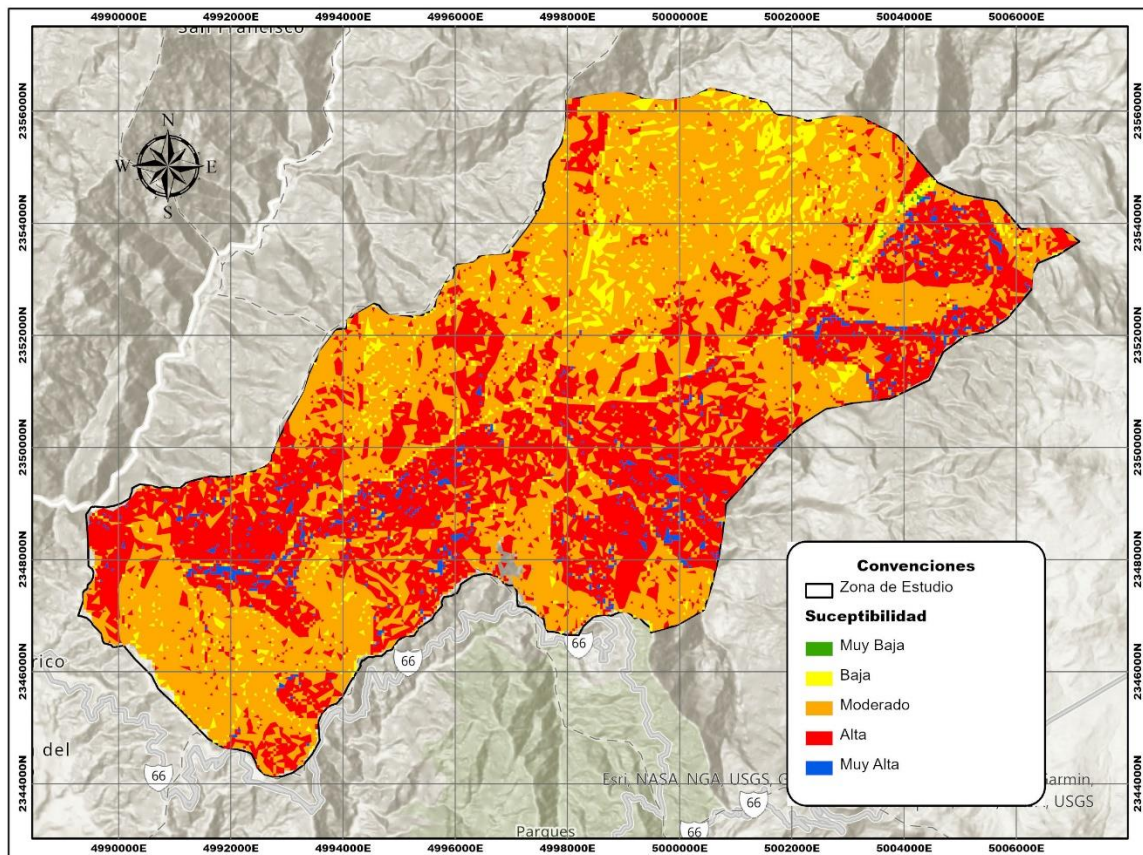
Por otro lado, el segundo método, que ha sido utilizado durante décadas, se sustituyó por el anterior aproximadamente hace diez años, posiblemente debido a necesidades específicas de la Meteorología Aplicada. Sin embargo, sigue siendo utilizado en algunos trabajos de investigación sobre la variabilidad climática. En este enfoque, las anomalías de precipitación se distribuyen en cinco intervalos de igual tamaño, donde el rango central (80-120%) representa el intervalo de comportamiento normal. Esta distribución se basa en los deciles, colocando los valores más frecuentes en los deciles cinco y seis, que corresponden al umbral de comportamiento normal (IDEAM, DETERMINACIÓN DE UN RANGO NORMAL PARA LA PRECIPITACIÓN - ANÁLISIS , 2014)

5.2. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD METODOLOGIA SAATY

El análisis del mapa de susceptibilidad por avenidas torrenciales en la microcuenca del río Tona, considerando los factores de pendiente, geomorfología y cobertura

vegetal, ofrece una perspectiva integral de las áreas más expuestas a estos eventos extremos en el área de estudio. La pendiente, con un vector de priorización de 0.63, se destaca como el factor preponderante, identificando las zonas con mayor inclinación que son propensas a sufrir erosión y deslizamientos durante episodios de lluvias intensas. La geomorfología, con un vector de 0.33, añade profundidad al análisis al señalar áreas con características geológicas y morfológicas que pueden intensificar los impactos de las avenidas torrenciales, como cauces estrechos o acumulaciones de sedimentos. Aunque la cobertura vegetal tiene un vector de priorización más bajo de 0.11, sigue siendo un factor relevante al proporcionar cierto grado de protección contra la erosión y la escorrentía superficial. La integración de estos factores en el mapa de vulnerabilidad ofrece una herramienta valiosa para la gestión del riesgo de inundaciones repentinas en la microcuenca del río Tona, facilitando la identificación de áreas prioritarias para la implementación de medidas de mitigación y adaptación.

FIGURA 33 Mapa susceptibilidad por avenidas torrenciales metodología saaty



Fuente: Propia

Después de analizar la matriz con sus vectores de priorización, se ha determinado que aproximadamente 179 hectáreas de la microcuenca del río Tona son especialmente susceptibles a avenidas torrenciales. Este resultado resalta la importancia de implementar medidas de gestión del riesgo y de conservación en estas áreas identificadas como de alto peligro. Estas acciones podrían incluir la reforestación para estabilizar pendientes, la construcción de estructuras de retención de agua y la planificación urbana que tenga en cuenta la prevención de inundaciones. En conjunto, estos esfuerzos pueden ayudar a reducir el impacto negativo de las avenidas torrenciales en la región y a proteger los recursos naturales y las comunidades locales.

6. CONCLUSIONES

- Se recopiló la información requerida y veraz de la cuenca sobre avenidas torrenciales para la clasificación y generación de una base de datos al respecto que permitió consolidar los datos indispensables para su procesamiento, obteniendo resultados verídicos acordes con la realidad del terreno.
- Se hizo un análisis de casos de avenidas torrenciales en la zona de estudio, determinando las variables que han influido en este tipo de evento para definir los escenarios de amenaza mediante cartografía correspondiente y logrando obtener la afectación que puede tener una avenida torrencial en la cuenca del río Tona.
- Se identificaron las zonas de amenaza por avenida torrencial en la cuenca media y baja del río Tona, con el uso de Sistemas de Información Geográfica mediante la metodología de Saaty e información existente para contribuir con el ordenamiento del territorio de la cuenca obteniendo un área aproximada de 179 hectáreas de afectación por avenidas torrenciales.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el rango de estudio más allá de las áreas directamente afectadas por las avenidas torrenciales en la microcuenca del río Tona. Incluir zonas circundantes permitirá una comprensión más correcta de los posibles riesgos y contribuirá a un plan de riesgo más completo y efectivo.
- Realizar un análisis detallado de las avenidas torrenciales, considerando factores como la intensidad, frecuencia y patrones históricos. La recopilación de datos específicos permitirá una evaluación más precisa de los riesgos asociados y facilitará la implementación de medidas preventivas y de mitigación.
- Recomendamos la utilización de tecnologías de teledetección para la corrección de imágenes satelitales. La implementación de técnicas avanzadas, como la corrección atmosférica y la calibración radiométrica, garantizará la obtención de datos precisos y confiables para el análisis geoespacial.
- Proponer la creación de modelos de riesgo que integren los datos actualizados de avenidas torrenciales y las imágenes corregidas. Estos modelos pueden proporcionar una herramienta predictiva valiosa para anticipar eventos y respaldar la toma de decisiones en la gestión de riesgos.
- Incluir en el proyecto actividades de capacitación para las comunidades locales, destacando la importancia del plan de riesgo actualizado y proporcionando conocimientos básicos sobre interpretación de imágenes satelitales. La participación comunitaria es esencial para el éxito a largo plazo de cualquier estrategia de gestión de riesgos.

- Se recomienda encarecidamente que, antes de proceder con el proyecto, se realice una evaluación exhaustiva del factor condicionante y se elija cuidadosamente el escenario más apropiado. Esto garantizará una comprensión completa de los riesgos asociados con las avenidas torrenciales y permitirá una planificación adecuada de las medidas de mitigación necesarias. Además, se sugiere consultar a expertos en hidrología y climatología para obtener una evaluación precisa de las condiciones climáticas y sus posibles impactos en el proyecto.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEROTERRA. (11 de Marzo de 2019). Obtenido de <https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/introduccion>
- ambiente, M. d. (9 de agosto de 2021). *minambiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/colombia-esta-comprometida-con-la-accion-climatica-global-ministro-de-ambiente/>
- Ana Campos G., N. H.-N. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia*. Bogota: BANCO MUNDIAL COLOMBIA.
- BOGOTA, A. D. (2014). *SIRE*. Obtenido de <https://www.sire.gov.co/documents/82884/507561/AVENIDAS+TORRENCIALES.pdf/9afa875a-0fc0-47a1-86f4-62fad97d719c#:~:text=Las%20avenidas%20torrenciales%20son%20un,r%C3%A1pidos%20del%20nivel%20de%20agua.>
- CARDENAS RIVERA, J. L., FERNANDEZ MARTINEZ, C. A., & TORRES PALACIOS, C. (2022). *EFFECTOS QUE HA GENERADO LOS CAMBIOS DE USO DEL SUELO EN LOS ECOSISTEMAS NATURALES EN LA SUBCUENCA HIDRICA DEL RIO TONA EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS*.
- CDMB. (2022). Obtenido de <https://economia.uniandes.edu.co/sites/default/files/webproyectos/santurban/PLAN-DE-ORDENAMIENTO-Y-MANEJO-RIO-TONA.pdf>
- Chuvieco, E. (2000). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Ediciones Rialp.
- CLIMATICO, I. D. (2012). *INDIGER*. Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/riesgo-por-avenidas-torrenciales>
- Codazzi, I. G. (2017). *DETERMINACION DE ZONAS SUCEPTIBLES DE INUNDACION MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS SIG*. BOGOTA.
- COLOMBIA, C. D. (1993). *LEY 99*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>
- COLOMBIA, C. D. (2012). *LEY 1553*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- COLOMBIA, E. P. (1989). *DECRETO 919*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=13549>
- COLOMBIA, E. P. (2015). *DECRETO 1086*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=61852>
- Colombia, G. d. (30 de Junio de 2022). Obtenido de <https://geoservicios.com.co/analisis-de-riesgos-geologicos/>
- COLOMBIA, P. D. (2014). *DECRETO 1807*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488>
- COLOMBIA, R. D. (2015). *DECRETO 1075*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>
- CONGRESO. (17 de MAYO de 2012). *LEY 1530*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47474>
- CONGRESO DE COLOMBIA. (2012). *Ley 1523*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

- DESARROLLO, O. R. (2016). *OBSERVATORIO REGIONAL DE PLANIFICACION PARA EL DESARROLLO*. Obtenido de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/marcos-regulatorios/ley-general-ambiental-de-colombia-ley-99-de-1993#:~:text=La%20Ley%2099%20de%201993,la%20Naci%C3%B3n%2C%20a%20fin%20de>
- Edwards, G. J. (2 de FEBRERO de 1998). *RADIOMETRIC CORRECTION OF SATELLITE IMAGES*. Obtenido de [RADIOMETRIC CORRECTION OF SATELLITE IMAGES: https://www.ncl.ac.uk/tcmweb/bilko/module7/lesson3.pdf](https://www.ncl.ac.uk/tcmweb/bilko/module7/lesson3.pdf)
- ENERGÍA, M. D. (Abril de 2007). Obtenido de <https://recordcenter.sgc.gov.co/B10/22005002524660/Documento/Pdf/210524660123000.pdf>
- Esri. (2016). Obtenido de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000004000000.htm#:~:text=El%20proceso%20de%20an%C3%A1lisis%20espacial,o%20un%20objetivo%20en%20particular.>
- Felipe, G. A. (26 de AGOSTO de 2017). *PERIODICO15*. Obtenido de <https://www.periodico15.com/los-cerros-orientales-de-bucaramanga-mas-que-un-sendero-un-tesoro-natural-para-el-area-metropolitana/>
- Giral Patarroyo, Y. F. (2017). Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2237>
- González, L. J. (2009). *EVALUACIÓN DE ZONAS DE AMENAZA POR AVENIDAS*. Medellín: Revista Ingenierías Universidad de Medellín.
- HURTADO TOSAKO, B. G. (s.f.). *EL PROCESO DE ANALISIS JERARQUICO (AHP) COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES*. BIBLIOTECA CENTRAL PEDRO ZULEN .
- IDEAM. (2014). *DETERMINACIÓN DE UN RANGO NORMAL PARA LA PRECIPITACIÓN - ANÁLISIS*. BOGOTA.
- IDEAM. (2017). Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023774/GUIA_METODOLOGICA_MAPAS_INUNDACION_MARZO_2018.pdf
- IDIGER. (Agosto de 2014). Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/riesgo-por-avenidas-torrencales#:~:text=1.-,%C2%BFQu%C3%A9%20son%20las%20avenidas%20torrencales%3F,las%20condiciones%20de%20la%20cuencia.>
- INSTITUTO DE HIDROLOGIA, M. Y. (2017). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN*.
- Marcos J. Montes a, C. O. (1 de septiembre de 2009). *scienceDirect*. Obtenido de [scienceDirect: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425709000741](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425709000741)
- MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. (2008). *RESOLUCION 909*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-909-de-2008.pdf>
- Mundial, B. (2012). Obtenido de <http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/gestiondelriesgoweb.pdf>
- NANTES, E. A. (2019). *EL METODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS PARA LA TOMA DE DECISIONES*. DEPARTAMENTOS DE CIENCIAS DE LA ADMINISTRACION UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR .

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

- Pabon, M. D. (10 de 6 de 2020). Obtenido de <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3028/R-DC-128%20Informe%20Final.pdf?sequence=1>
- Peña, G. (1 de Julio de 2018). *Repositorio UPB*. Obtenido de Repositorio UPB: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5505/digital_37
- Rafael C, G. -R. (1999). *Procesamiento digital de imagenes*. Estados Unidos : Pearson Educación.
- Ramos, M. J. (2023). *Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa escala 1:25.000 en la Microcuenca del Río Tona, Santander*. Bucaramanga: UIS.
- SAATY. (1990). *HOW TO MAKE A DECISION THE ANALYTIC HIERACHY PROCESS EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*.
- TORRES CLARA, (2024). Grupo Grimat, Metodología Saaty en proyectos de investigación. UTS, Santander-Colombia

F-DC-125

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPREDIMIENTO Y SEMINARIO**

VERSIÓN: 2.0

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder proceso Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023