

ANALISIS DE AMENAZA POR CRECIENTES SUBITAS DE LA MICROCUENCA LA
VIUDA, MUNICIPIO DE CHITAGÁ, NORTE DE SANTANDER

JESSICA YORELY VILLAMIZAR RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA AMBIENTAL
PAMPLONA
2017

ANALISIS DE AMENAZA POR CRECIENTES SUBITAS DE LA MICROCUENCA LA
VIUDA, MUNICIPIO DE CHITAGÁ, NORTE DE SANTANDER

JESSICA YORELY VILLAMIZAR RODRIGUEZ

1010089500

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniera Ambiental

DIRECTOR

MARIA ESTHER RIVERA

PhD. Hidrología & Lic. Matemáticas y física

CODIRECTOR

JESUS RAMON DELGADO RODRIGUEZ

Geólogo MSc. Geotecnia.

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA AMBIENTAL
PAMPLONA
2017

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

A Dios

Por haberme dado la salud, la paciencia y haberme permitido lograr mis objetivos.

A mis padres

Victor Julio y Rosalba, por todos aquellos sacrificios y el apoyo constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor incondicional.

A mis hermanos.

Tatiana y Víticor, mis dos angelitos que siempre me acompañan y me iluminan en cada paso que doy y a Erick Giovanny la luz de mis ojos que llegaste para fortalecer de travesuras y amor esta familia.

A Jhonatan Ospino, mi amorsoote bello, que siempre ha confiado en mí, y logro motivarme y llenar de risas esos momentos de estrés que viví con la tesis, Gracias por tu amor y paciencia.

A mi tía Sara, que, con su amor y cariño, siempre ha estado conmigo en las buenas y en las malas

No ha sido nada sencillo el camino hasta ahora, pero Gracias a su amor y compañía, pude lograr esta meta.

LOS AMO...

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

Dios, por darme la vida.

PhD. María Ester Rivera y MSc. Jesús ramón Delgado, tutores del proyecto, por ayudar continuamente a darle forma a esta investigación, así mismo por su confianza, apoyo incondicional para el logro de los objetivos propuestos y sus valiosos consejos.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), por el interés en apoyar la investigación desarrollada mediante el suministro de la información meteorológica

Todas las personas que forman parte de las instituciones que me vieron transitar un capítulo más, Gracias a todos aquellos que hicieron de la Facultad de ingenierías y arquitectura de la Universidad de Pamplona mi segundo hogar.

Administración municipal de Chitagá, por su paciente colaboración en el suministro y acceso a información histórica de diferentes fuentes documentales

Ing. Yadira Suarez, por su amistad, que siempre estuvo atenta a mis inquietudes, gracias por cada minuto de asesoría prestadas.

Disney Montañez y Angie Cely, mis dos grandes amigas, gracias por su amistad, compañía y ayuda incondicional hasta el final, fueron y serán parte fundamental en mi vida, las quiero.

Durante el desarrollo de esta tesis se presentaron diversidad de situaciones que querían obstaculizar mi camino de realizarme como profesional, pero esto no sucedió y fue gracias al apoyo de Jhonatan Ospino que con su amor y compañía logro que no me preocupara y pudiera salir adelante.

Finalmente, el apoyo más grande que abarca todos los aspectos, Mi familia, quienes conforman el pilar de mi vida, gracias a su apoyo emocional y financiero pude concluir mi carrera los amo papitos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TABLA DE CONTENIDO.....	6
Pág.....	6
RESUMEN.....	14
INTRODUCCIÓN	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. OBJETIVOS	18
4.1. OBJETIVO GENERAL	18
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5. ALCANCES Y LIMITACIONES	19
6. MARCO REFERENCIAL	20
6.1. MARCO CONTEXTUAL.....	20
6.2. ANTECEDENTES	21
6.3. MARCO TEORICO	27
❖ FACTORES QUE INCIDEN EN LAS CRECIENTES SÚBITAS	28
➤ CONSECUENCIAS DE LOS PROCESOS DE CRECIENTE SÚBITAS.....	36
➤ SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZAS ANTE LA CRECIENTE SUBITA	37
➤ HIDRAULICA	39
➤ MODELACIÓN HIDRAULICA E HIDROLÓGICA	39
7. METODOLOGÍA	42
7.1 CARACTERIZAR FÍSICA Y GEOMORFOLÓGICAMENTE LA MICROCUEENCA.....	42
LA VIUDA.....	42
7.2 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN Y VARIABILIDAD DE LAS PRECIPITACIONES EN LA MICROCUEENCA LA VIUDA.	43
7.3 LEVANTAMIENTO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES EN EL CAUCE PRINCIPAL DE LA QUEBRADA LA VIUDA.	48
7.4 IDENTIFICAR LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS CRECIENTES SÚBITAS DE LA MICROCUEENCA LA VIUDA.....	53
7.5 GENERAR MAPA DE AMENAZA POR CRECIENTES SÚBITAS.	56
7.6 SEÑALAR Y PLANTEAR ALGUNAS RECOMENDACIONES QUE PUEDAN CONTRIBUIR A LA TOMA DE DECISIONES POR PARTE DE LAS ENTIDADES COMPETENTES	58
7.7 SOCIALIZACION DEL PROYECTO	59
8. RESULTADOS Y DISCUSION.....	59
8.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMETRÍCAS DE LA MICROCUEENCA L A VIUDA	59
8.2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO - CURVAS IDF, HIETOGRAMAS E HIDROGRAMAS	62
8.3. ANALISIS DE SEDIMENTOS	70
8.3 ANALISIS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES HEC-RAS	73
8.5 IDENTIFICAR LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS CRECIENTES SÚBITAS DE LA MICROCUEENCA LA VIUDA.....	74

8.6. ANALISIS DE MAPA DE AMENAZA POR CRECIENTES SUBITAS	89
8.7 SOCIALIZAR ANTE LA COMUNIDAD DIRECTAMENTE IMPLICADA EN EL PROYECTO Y ANTE LA ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL, LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES QUE DE ESTA INVESTIGACIÓN SE DERIVEN.....	92
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA.....	96
ANEXOS.....	98

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Ubicación de la Microcuenca La Viuda, Municipio de Chitagá, Norte de Santander.....	20
Imagen 2. Metodología para modelar secciones transversales en Hec-Ras	41
Imagen 3. Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas	44
Imagen 4. Ubicación de los puntos de muestreo (8) en la microcuenca La Viuda.....	47
Imagen 5. Modelación y simulación de las secciones trasversales, levantadas en el cauce principal de la quebrada la viuda.	51
Imagen 6. Esquema metodológico del procesamiento de imágenes satelitales para el análisis de cobertura vegetal	54
Imagen 7. Modelo de elevación (TIN) y red de drenaje- microcuenca La Viuda	61
Imagen 8. Pendiente del terreno, microcuenca La Viuda.....	75
Imagen 9. Mapa de ubicación del deslizamiento, microcuenca La Viuda	77
Imagen 10. Deslizamientos presentes en la microcuenca La Viuda, que obstruyen el curso del cauce directamente	78
Imagen 11. Deslizamiento frente a los tanques desarenadores del acueducto del municipio de Chitagá ..	79
Imagen 12. Movimientos de tierra, que obstruyen parcialmente el cauce de la quebrada.	79
Imagen 13. Mapa de cobertura vegetal editado según lo observado en campo.....	80
Imagen 14. Mapa geológico –microcuenca La Viuda.....	87
Imagen 15. Mapa de precipitación, zona de estudio.....	89
Imagen 16. Mapa de crecientes súbitas TR 100 años.....	90
Imagen 17. Mapa de amenaza por crecientes súbitas, TR 500 años.....	90

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1. Reconocimiento de la microcuenca La Viuda.....	43
Fotografía 2. Miras o reglas limnimétricas en la zona de estudio.....	46
Fotografía 3. Levantamiento de las secciones transversales de la quebrada La viuda.....	48
Fotografía 4. Sedimentos presentes en el cauce (margen derecho).....	49
Fotografía 5. Cuarteo y peso de la muestra de sedimentos en campo.....	50
Fotografía 6. Secado de las muestras de sedimento.....	50
Fotografía 7. Serie de tamices / sedimentos tamizados.....	50
Fotografía 8. Comparación del caudal presentado en la parte alta y baja de la microcuenca.....	69
Fotografía 9. Laderas abruptas, microcuenca La Viuda.....	76
Fotografía 10. Laderas escarpadas, microcuenca La Viuda.....	76
Fotografía 11. Cobertura vegetal, tejido urbano continuo microcuenca La Viuda.....	81
Fotografía 12. bosques naturales, frondosos -microcuenca la viuda.....	82
Fotografía 13. Bosque natural fragmentado –microcuenca La Viuda.....	83
Fotografía 14. Bosques y coníferas -microcuenca La Viuda.....	83
Fotografía 15. Cobertura presente en el páramo las Sardinas, zona de influencia de la microcuenca la viuda.....	84
Fotografía 16. Rastrojos y pastos enmalezados, microcuenca La Viuda.....	85
Fotografía 17. Cultivos anuales y transitorios presentes en la microcuenca La Viuda.....	85
Fotografía 18. Prados y praderas para el uso exclusivo de ganadería- microcuenca La Viuda.....	86
Fotografía 19. Cercas dentro del cauce, factor de posible represamiento- Quebrada La Viuda.....	86
Fotografía 20. Rocas bandeadas y direccion de buzamiento.....	88

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Curvas IDF	29
Gráfico 2. Hietograma	30
Gráfico 3. Hidrograma del Servicio de Conservación de Suelos (SCS).....	31
Gráfico 4. Curva hipsométrica zona de estudio.....	62
Gráfico 5. Curva IDF, Estación Chitagá –Chitagá	63
Gráfico 6. Hietogramas para los periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, y 500 años de la Microcuenca La Viuda.	64
Gráfico 7. Hidrogramas para los periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100.....	66
Gráfico 8. Nivel del agua en un punto del cauce.....	69
Gráfico 9. Caracterización granulométrica Quebrada La Viuda	70
Gráfico 10. Secciones transversales	74

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales ecuaciones para determinar el tiempo de concentración.....	32
Tabla 2. Características de una cuenca susceptible ante una avenida torrencial o creciente súbita.	35
Tabla 3. Estaciones medidoras de parámetros hidrometeorológicos suministrados por el IDEAM	44
Tabla 4. Coeficientes de Manning utilizados en la modelación de la Quebrada La Viuda	52
Tabla 5. Coeficientes de contracción y expansión (Hec-Ras)	52
Tabla 6. Categorías de trabajo de las pendientes utilizadas en el proceso de zonificación.	53
Tabla 7. Codificación de las unidades de coberturas de la tierra (utilizadas en la microcuenca La Viuda)	56
Tabla 8. Valoración y categorización de las variables	57
Tabla 9. matriz de evaluación de categorías de la amenaza	57
Tabla 10: Características morfométricas de la Microcuenca La Viuda.	60

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ec (1) Ecuación de Intensidad de la lluvia.	29
Ec (2) Ecuación de Intensidad de precipitación.	30
Ec (3) Tiempo de punta.....	31
Ec (4) Tiempo base (Horas)	31
Ec (5) Caudal de punta (m ³ /s).....	31
Ec (6) Ecuación de caudal (método de aforo	33
Ec (7) Ecuación del caudal a través del Método Volumétrico	33
Ec (8) Ecuación del caudal a través del Método Flotador.....	33

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Registro de datos de aforo y lectura de las miras limnometricas en la quebrada La Viuda	98
Anexo 2. Invitación por parte de La Institución Educativa Alonso Carvajal Peralta, municipio de Chitagá para la socialización del proyecto.....	99
Anexo 3. Certificado de socialización del proyecto.....	99
Anexo 4. Secciones transversales, perfiles del tramo y el área de flujo.....	99

RESUMEN

La representación de las componentes hidrológicas y geotécnicas de los cauces cercanos a una zona urbana se hacen cada día más importantes, tanto así que los municipios que se encuentran en crecimiento y que presentan amenazas naturales deben adelantar estudios de zonificación que ayuden a la planificación de su desarrollo, teniendo en cuenta que es uno de los fenómenos naturales de mayor ocurrencia, por las condiciones climáticas como es el caso de la emergencia ocurrida en el 2015, municipio de Chitagá, Norte de Santander – Colombia, donde se presentaron desbordamientos de quebradas, causando múltiples pérdidas económicas y daños ambientales; Por esto se vio la necesidad de implementar el presente trabajo el cual tiene como objeto analizar la amenaza por crecientes súbitas de la quebrada La Viuda, municipio de Chitagá, Norte de Santander. Para ello, se recopila información de la cuenca, características morfométricas, curvas IDF, Hietogramas, Hidrogramas, identificación de los puntos de muestreo de sedimentos, aforo y nivel para posterior muestreo, toma de datos y análisis que permiten observar la manera cómo funciona el sistema cauce y las características de la zona, estableciéndose ocho (8) estaciones de muestreo en la parte media y baja de la microcuenca, y posteriormente se realizaron análisis que permitieron observar la manera cómo funciona el cauce y la zona de influencia. Así mismo, con los datos compilados se efectúa la modelación hidrológica a través de los softwares ArcGis 10.2.2, y Hec-Ras 5.0.3, obteniéndose como resultados; el área total de la microcuenca 2,385 Km² y una longitud del curso principal de 5,337 km, de orden dos indicando un grado estructural de tipo bajo que implica suelos más resistentes a la erosión o muy permeables y de bajo relieve y una Pendiente promedio de la cuenca 36.263 %, perteneciente a la categoría moderada que representa terrenos con sedimentos variables incluyendo coluviones y sustratos arcillo-limosos. Por otra parte, las curvas IDF permitieron observar que a menor tiempo de duración mayor es la intensidad en función del periodo de retorno; además cuenta con un caudal promedio de 0.053m³/s captado por las estaciones de aforo, esto quiere decir que la microcuenca la viuda se destaca por presentar un régimen torrencial alto debido a las condiciones de precipitación, pendiente y forma del canal del cauce. A lo anterior se suma la variabilidad de caudales registrados.

Palabras claves: Amenaza, Chitagá, Creciente súbita, Curva IDF, Hec-Ras, Sedimento, Modelación

INTRODUCCIÓN

Históricamente el recurso hídrico es el principal constituyente de todos los seres vivos y su dinámica se convierte en una fuerza importante que nos ofrece constantemente grandes beneficios, pero la búsqueda del mejoramiento de la calidad de vida y del bienestar de la población, ha venido siendo entorpecida por diferentes situaciones debido a que la población busca tener un abastecimiento de agua asegurado, para el manejo de la agricultura, la ganadería y consumo humano llevándolo a su desarrollo y colonizando cada vez más cerca la ronda hídrica y a su vez, provocando impactos negativos al medio ambiente, estos hechos han provocado uno de los fenómenos naturales de mayor ocurrencia, como es la amenaza por crecientes súbitas, la cual es una inundación de corta duración que alcanza un caudal máximo relativamente alto (Chow 1994).

De igual manera el IDEAM indica que, aunque las áreas de afectación son menores, el poder destructivo es potencialmente elevado y cobra el mayor número de vidas cuando se presentan fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, principalmente en la región Andina. En el caso de Colombia son múltiples los estragos que se han generado como por ejemplo la emergencia nacional sufrida para finales del 2010 y comienzos del 2011 donde el país pasó por una de las olas invernales más duras en años, tragedia que trajo consigo altas precipitaciones y de duración prolongada que se caracterizan en eventos como desastres naturales, movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales. (CEPAL, 2012).

En el municipio de Chitagá se generaron eventos de remoción en masa causados por la ola invernal que azotó esta región durante los meses de mayo-agosto de 2015, provocando situaciones que podrían mitigarse, una vez conocido el comportamiento del afluente, así mismo no se vería afectada la comunidad.

Por lo anterior, en esta investigación se presenta el análisis de amenaza por crecientes súbitas en la microcuenca La Viuda, la cual se localiza al sur del departamento Norte de Santander, en el municipio de Chitagá. Para ello, se realizaron actividades como: Verificación de la información existente, caracterización morfométrica de la cuenca en estudio, identificación de los puntos de nivel del agua, aforos y puntos de muestreo de sedimento, curvas IDF, Hietogramas, hidrogramas. Posteriormente, se levantaron secciones transversales del cauce para la modelación hidráulica e hidrológica y simular el tránsito de crecientes a través de los softwares Hec Ras 5.0.3 y ArcGis 10.2.2; así mismo, se generó el mapa de amenaza por crecientes súbitas, que servirá como herramienta para complementar el plan de ordenamiento municipal. De igual manera, tiene como finalidad plantear algunas recomendaciones que puedan contribuir a mitigar los riesgos, producto de la amenaza por avenidas torrenciales a los que están expuestos los habitantes de la zona de influencia de la quebrada y a la toma de decisiones por parte de las entidades competentes.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los hechos se remontan a lo ocurrido en el año 2015 entre los meses de mayo- agosto, se presentaron fuertes lluvias, lo que generó que los caudales de los ríos y quebradas superaran los niveles habituales, provocaron múltiples daños. Según observaciones efectuadas en la zona de estudio realizadas en mayo y junio del 2017, se evidencia la colmatación de sedimentos, deslizamiento de laderas debido a los efectos producidos por la deforestación, lo que conlleva a que el agua fluya rápidamente hacia los arroyos y eleve el nivel del agua de la quebrada, menospreciando que el bosque asegura el flujo regular del agua, además de retener los suelos. De igual manera, se observa el alto grado de contaminación en la parte baja del cauce, debido al número de vertimientos provenientes de las viviendas que se encuentran ubicadas en su ronda hídrica las cuales encausan sus aguas negras directamente a la quebrada.

Con respecto al proceso de recolección de la información existente al Plan de Ordenamiento Territorial del municipio - POT el cual se encuentra en proceso de reajuste, y el que hay disponible data del año 2005 (Alcaldía Municipal de Chitagá, 2005), y carece de reglamentación para las cuencas hidrográficas. Por lo tanto, se hace necesario planificar el ordenamiento del territorio, a causa del aumento de la población localizada en áreas próximas a las márgenes pertenecientes a la quebrada, la cual ha sido intervenida por actividades antrópicas como ganadería y producción agrícola, siendo estas las principales generadoras de alteraciones en el equilibrio ecológico, degradación de los suelos, y la contaminación del recurso hídrico, afrontándose de manera permanente en un gran número de cuencas del municipio de Chitagá y de la región en general.

De acuerdo con el escenario anterior es indispensable la realización de un estudio detallado que oriente en la toma de decisiones a la administración del municipio que contenga mapas que muestren las zonas de amenaza y susceptibilidad por crecientes súbitas ; de la misma forma se considera importante, puesto que permite de forma pronta y precisa, plantear algunas recomendaciones de mitigación de las zonas vulnerables propensas a crecientes y las posibles consecuencias o afectaciones que esta representa para el medio ambiente, la población, la infraestructura, actividades económicas y sociales. Considerando lo anterior se plantea la siguiente pregunta:

¿Cuáles son las zonas de la microcuenca La Viuda, Municipio de Chitagá que se verán afectadas por posible amenaza de crecientes súbitas?

3. JUSTIFICACIÓN

Por las altas precipitaciones presentadas en el municipio de Chitagá, norte de Santander, en los meses de mayo-agosto de 2015, que afectaron grandes extensiones de terreno, arrasando con cultivos, viviendas y vías, revelo una de las mayores amenazas, que constituyeron grandes pérdidas ambientales y económicas en la región, además de alterar de manera drástica el normal desempeño de las actividades socioeconómicas realizadas por los pobladores.

En relación con los hechos presentados, se decide tomar como objeto de estudio la microcuenca La Viuda, por ser uno de los afluentes hidrológicos más cercanos a la población del casco urbano del municipio, además de proveer una de las captaciones, con la cual se abastece de agua la población. Dado que el municipio de Chitagá N. de S, no cuenta con información necesaria para tomar acciones preventivas, de fenómenos hidrológicos (crecientes súbitos), que generan riesgos en las zonas aledañas a la microcuenca La Viuda.

Como objetivo principal se pretende provisionar al municipio con la información necesaria para generar un mapa de amenaza y susceptibilidad, utilizando modelos hidrológicos que permitan la estimación de crecientes súbitas, que permite analizar integralmente el grado de amenaza, y las posibles consecuencias que esta representa para la población. Finalmente contribuir en la elaboración de algunas recomendaciones que puedan contribuir a la toma de decisiones por parte de las entidades competentes.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la amenaza por creciente súbita de la microcuenca La Viuda, Municipio de Chitagá, Norte de Santander.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar física y geomorfológicamente la microcuenca La Viuda.
- Determinar la distribución y variabilidad de las precipitaciones en la microcuenca La Viuda.
- Realizar el levantamiento de secciones transversales en el cauce principal de la quebrada la viuda.
- Identificar los principales factores que influyen en las crecientes súbitas de la microcuenca La Viuda
- Generar un mapa de amenaza por crecientes súbitas.
- Señalar y plantear algunas recomendaciones que puedan contribuir a la toma de decisiones por parte de las entidades competentes.
- Socializar ante la comunidad directamente implicada en el proyecto y ante la administración municipal, los resultados y conclusiones que de esta investigación se deriven.

5. ALCANCES Y LIMITACIONES

➤ ALCANCES

Dadas las características del presente proyecto “Análisis de amenaza por crecientes súbitas de la quebrada La Viuda, municipio de Chitagá, Norte de Santander” tiene como alcance modelar y simular el comportamiento hidrológico del cauce para así mismo generar y analizar el mapa de amenaza por crecientes súbitas, teniendo en cuenta la caracterización física y geomorfológica de la microcuenca.

➤ LIMITACIONES

Los aspectos limitantes e inconvenientes que se generaron para el óptimo desarrollo del presente proyecto fueron:

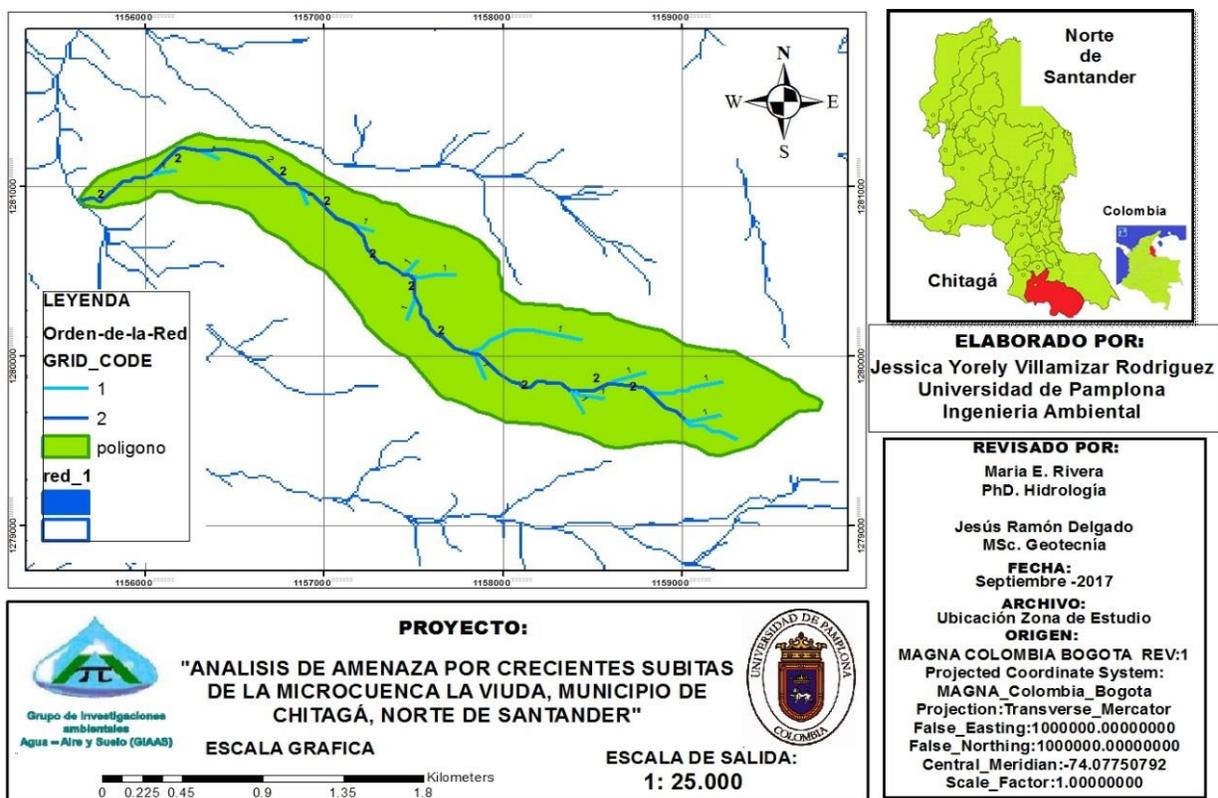
- En primer lugar, el difícil acceso a la parte alta de la microcuenca por la topografía del terreno, así mismo la interrupción consecutiva por parte de los propietarios de los predios debido a la restricción en el acceso a la zona de estudio.
- El municipio de Chitagá, no cuenta con equipos y herramientas básicas para el normal funcionamiento del proyecto, por ejemplo, un micromolinete, sin embargo, el aforo de caudales, se realizó mediante el método volumétrico y flotador.
- En otro orden de ideas, el municipio no cuenta con instalaciones necesarias para llevar acabo los laboratorios de suelos, que permitan realizar el análisis granulométrico.
- Debido a que en la zona solo se cuenta con una estación pluviométrica, la carencia de información Hidroclimatológica, incrementa la incertidumbre en los resultados de las diferentes modelaciones, por otra parte, la topografía existente no es precisa, presenta un margen de error considerable, así pues, se decide realizarla con equipos de limitada precisión.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. MARCO CONTEXTUAL

El municipio de Chitagá limita al norte con los Municipios de Cacota, Labateca y Pamplona, al Oriente con Labateca, Toledo y el Departamento de Boyacá, al occidente con el municipio de Silos y al sur con los Municipios de Concepción y el Cerrito. Cuenta con un área 1.200 Km², y a una altura de 2340 m.s.n.m (PBOT 2005). Así mismo, cabe resaltar que el aporte hídrico con el cual se ha visto beneficiado el municipio para el consumo humano, es proveniente de dos microcuencas siendo una de ellas, la Microcuenca La Viuda (Imagen 1), quien ocupa un área de 2,385km² y una longitud del cauce principal de 5,337 km a una altura de 2284 m.s.n.m, el cual a su paso es alimentado por catorce (14) afluentes considerables, recibiendo aportes de aguas negras por las urbanizaciones circundantes a la ronda hídrica, sumado a esto, los suelos de las zonas aledañas al cauce principal, son de uso agrícola (ganadería y cultivos transitorios) destacándose los cultivos de arveja, fresa, remolacha, papa, maíz, y repollo.

Imagen 1. Ubicación de la Microcuenca La Viuda, Municipio de Chitagá, Norte de Santander.



Fuente: Villamizar R, (2017)

6.2. ANTECEDENTES

Desde los años 50, el interés por el estudio de cuencas, ha aumentado y hoy en día es un instrumento indispensable para los estudios hidrogeomorfológicos, así como en el estudio y la gestión del medio natural. Los estudios de cuencas son contemplados con una perspectiva sistemática que incorporan los efectos de los cambios de usos de suelo y permiten relacionar y jerarquizar la influencia de los diferentes factores que intervienen en el ciclo hidrológico (Walling, 1991), (Gallart, 1997).

Actualmente en el país y el mundo entero es de vital importancia el medio ambiente y el cambio climático ya que en los últimos años se han conformado diversos organismos encargados de la planificación y mitigación de riesgos ocasionados por fenómenos naturales, debido a los impactos que han generado catástrofes naturales sobre poblaciones vulnerables a amenaza y riesgo dejando miles de pérdidas humanas.

En primer lugar, existen varios estudios y proyectos realizados en cuanto a reducciones de riesgos, con respecto al tema hídrico hay casos como el de la ciudad de Santo Domingo de Heredia del país de Costa Rica donde el pasado reciente (últimos 15 años), el caudal del río Bermúdez sobrepasó los niveles normales y se desbordó, despertando sospechas sobre el incremento de tal evento sino también sobre la falta de gestión de riesgo de desastre por inundación en dicha ciudad. (Fernandez, 2011), causando grandes daños sobre el barrio Fátima en Santo Domingo donde se quedaron afectadas tanto las familias de esta población como sus viviendas.

Cabe resaltar de manera general que Borja B, Alcántara A. (Borja, 2004) en México realizó un estudio titulado “Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla” analizan el relieve montañoso de la República Mexicana, en su mayor parte favorece la ocurrencia de procesos de remoción en masa, condición que se manifestó en octubre de 1999 con cientos de movimientos del terreno en la Sierra Norte de Puebla, detonados por las intensas lluvias ocasionadas por la tormenta tropical número 11. Zacapoaxtla, junto con otros municipios de la zona, tales como Teziutlán, Totomoxtla, Zapotitlán de Méndez, etc., se vio afectado en un alto grado por estos fenómenos. La incidencia de tales procesos fue resultado en gran medida de la interacción entre las características geológicas y geomorfológicas existentes, y de las actividades humanas que han alterado el medio.

Según, (Cortes, 2016) en el trabajo “Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática” comenta que se presentaron los eventos naturales que causaron pérdidas en el planeta en el año 2015 (1060 casos), entre los que destacan los hidrológicos y climatológicos, siendo el más notable el incremento de los eventos hidrológicos (crecidas, inundaciones, movimiento en masa) en los años de 1980, Arreguín manifiesta algunos de los factores que inciden sobre el incremento de las inundaciones, entre ellos se destacan la ausencia de ordenamiento territorial y los efectos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico.

Por otra parte, Basha E, Ravela S y Rus D, (Basha, Design of Early Warning Flood Detection Systems for Developing Countries., 2008). En el artículo “*Model - based monitoring for early*

warning flood-detection” “Monitoreo basado en modelos para la detección de inundaciones de alerta temprana” analizaron los modelos de predicción para unos sistemas de alerta utilizados para la prevención de inundaciones, tomando como ejemplo un río en Honduras donde hicieron una descripción de todos los instrumentos utilizados para la implementación del SAT, siendo analizados cada una de las variables obtenidas y a su vez, como estas pueden ayudar a la calibración del mismo. De igual manera, describieron un modelo y un algoritmo eficiente para la predicción de inundaciones que utiliza los datos de los nodos de una red de sensores distribuidos espacialmente, quienes son computacionalmente más sencillo que los convencionales del modelado y la predicción de inundaciones.

El mismo autor en el (2008), realizó un artículo “*Design of early warning flood detection systems for developing countries*”, “Diseño de sistemas de detección temprana de inundaciones para países en desarrollo”); analizaron la importancia de que las comunidades estén advertidas de la posible llegada de una creciente, y así proporcionar una solución eficaz dando a las personas tiempo suficiente para evacuar y proteger su propiedad. Sin embargo, la gama de soluciones de sistemas de alerta temprana introdujo una serie de requisitos contradictorios como el coste y la fiabilidad, y crea varios problemas interesantes de factores tan diversos como tecnológicos, sociales y políticos. La complejidad de estos sistemas y la necesidad de autonomía en el marco de un país en desarrollo, sin dejar de ser fácil de mantener y accesible por personal no técnico, ofrece un desafío no resuelto con frecuencia dentro los países desarrollados, y mucho menos en desarrollo.

Por otro lado, (Collado, 2010)Indica en su estudio, “modelación hidrológico e hidráulica para la estimación de caudales máximos en el área urbana de Matagalpa, Nicaragua” en resumen, las inundaciones presentadas está asociado que la ciudad está ubicada en una cuenca de montaña que favorece a las avenidas rápidas debido a las altas pendientes provocando grandes procesos de erosiones del talud del río y modificando la dirección del cauce que por el avance desordenado de la ciudad causan inundaciones en las áreas adyacente al Río Grande de Matagalpa que generalmente se encuentran asentadas las viviendas, además uno de los grandes problemas que enfrentan los países Centroamericanos es que no se cuenta con suficientes estaciones hidrométricas medidoras de caudales y en mejor de los casos con registros de caudales consistentes y distribuidos en las cuencas, cabe destacar que existen herramientas para la planificación de medidas de protección.

El análisis de los diversos estudios de crecientes torrenciales es el principal objeto del trabajo efectuado por (Díaz de la Cruz, 2014) en su proyecto “Análisis hidrológico e hidráulico mediante técnicas SIG de la peligrosidad por inundaciones en la cuenca del Pla de Sant Jordi (Mallorca)” Quien planteó una metodología que permite realizar análisis de riesgo de inundación por avenidas torrenciales en una zona concreta de la Isla de Mallorca (Islas Baleares), así mismo presentan problemas de inundación de forma reiterada desde los años 70, proponiendo afrontar el problema desde el método de análisis hidrológico-hidráulico con el fin de obtener una cartografía de la zona de estudio donde aparezcan indicadas las áreas susceptibles o peligrosas a ser inundadas; De esta manera resalta, que el impacto en la sociedad de este tipo de fenómeno natural se ha visto elevado gracias al gran desarrollo de las actividades humanas en zonas potencialmente inundables (márgenes de los ríos o sus llanuras de inundación), ya que la cercanía a un cauce data de grandes ventajas; La principal, obviamente, es tener un abastecimiento de agua asegurado, algo que fue clave para el desarrollo de la agricultura y la ganadería tal como la conocemos en la actualidad

siendo estos factores influyentes en la capacidad retentiva natural, donde la infiltración es menor facilitando más la escorrentía superficial, por tal motivo decide realizar modelización de zonas inundables por el método del análisis unidimensional de cuencas, usando tecnología SIG y los softwares especializados HEC-GeoRas y HEC-RAS para la obtención de parámetros de la cuenca más exactos, y finalmente alcanzar simulaciones que muestren el comportamiento de la lámina de agua para diferentes periodos de retorno, pudiendo así identificar zonas potencialmente inundables.

La cartografía automatizada y las operaciones con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se están convirtiendo en una herramienta importante en la mayoría de las actividades de investigación y el producción, se puede señalar un estudio planteado por (Cartaya, 2008), en su trabajo “Metodología empleada para la zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa en cuencas de drenaje del estado Vargas, Venezuela” donde da a conocer la importancia de los SIG que se representan en plataformas tecnológicas que facilitan el manejo de amplia información concerniente a pequeñas áreas, así como a grandes territorios, de una manera más rápida. La metodología utilizada consistió en la elaboración de mapas digitales temáticos; algo semejante ocurre con el “inventario de procesos de remoción en masa en el parque provincial Aconcagua, Provincia de Mendoza – Argentina” elaborada por Moreiras M, Lenzano M y Riveros N (STELLA M., 2008), los cuales comentaron que en la elaboración de un mapa inventario de los procesos de remoción en masa a partir de estudios geomorfológicos advirtieron sobre la peligrosidad natural de la región y la necesidad de una zonificación, es decir, recurrir a medidas preventivas más efectivas, de allí la importancia de la realización de los mapas de amenaza.

Los estudios desarrollados por (Ollero Ojeda Alfredo, 1997) en su trabajo “Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico un planteamiento didáctico” brinda información sobre Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico, con fines didácticos, para poder alcanzar una clasificación de las causas y consecuencias que afecta un el territorio por los procesos de crecida e inundación. Además, analizaron los elementos de peligrosidad, vulnerabilidad y la percepción del riesgo ante estos procesos y a su vez establecieron los grados de riesgo en diferentes tipos de crecidas e inundaciones, puesto que resulta evidente la necesidad de establecer una cultura del riesgo, sensibilizando al conjunto de la sociedad.

Por otra parte, (Escuder, 2010) de la Universidad Politécnica de Valencia en la investigación “Análisis y evaluación de riesgos de inundación: estimación del impacto de medidas estructurales y no estructurales”, abordan como medida principal un contexto legislativo y evolución conceptual en el entendimiento de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundación fluvial y pluvial, incluyendo ciertas estimaciones de impacto, estas pueden ser muy útiles para el planeamiento y la gestión, ya que identifican áreas donde el riesgo y la amenaza de inundación debe ser reducido.

Otro estudio importante es el denominado “Determinación de crecientes extremas en las cuencas de alta montaña del río Guadalupe y la quebrada Piedras Blancas mediante la aplicación del método Gradex”. Este método ha sido especialmente empleado en pequeñas cuencas, bien instrumentadas ubicadas al sur-este (área montañosa sobre el mar mediterráneo) y sur-oeste (cuenca del Río Massane) han sido monitoreadas por más de 20 años con el objetivo de demostrar la efectividad del método (CFGB, 1994). A nivel nacional también se han presentado trabajos que demuestran el interés por determinar la probabilidad de crecientes extremas mediante el método Gradex. En la Sabana de Bogotá se analizaron cuencas con información cartográfica e

hidrometeorológica y mediante el modelamiento probabilístico de la serie de eventos de precipitación y caudales máximos, se comprobó una relación directamente proporcional entre la precipitación y el caudal presentados por (Lancheros, 2000).

Ahora bien, a nivel nacional se consideran: Los estudios realizados por , (SIERRA., 2005) llevo a cabo un estudio sobre “las crecientes súbitas en el rio Upín para el municipio de Restrepo, Meta” el cual hace énfasis en que la amenaza por crecientes súbitas el cual lo define como uno de los fenómenos naturales de mayor ocurrencia a nivel nacional y en especial sobre el Piedemonte Llanero, teniendo en cuenta las condiciones climáticas, los procesos geomorfológicos y las características del sistema fluvial, con el fin de establecer medidas de control del cauce próximo al casco urbano del municipio, también, indica que la amenaza como concepto tiene casi tantas definiciones como disciplinas científicas existen, seguramente por este motivo el grado de amenaza no ha sido abordado de forma integral, sino que por el contrario ha sido fragmentado de acuerdo al enfoque de cada disciplina.

Con respecto a avenidas torrenciales, (Vélez, 2002) se llevaron a cabo el “Análisis de la vulnerabilidad por avenidas torrenciales en la vereda Pekín y el casco urbano del municipio de Fusagasugá” donde suponen que a partir de una cierta lámina precipitada el suelo se satura, es decir que la infiltración permanece constante y la lámina por encima de este umbral (llamado pivote) se transforma en escorrentía superficial directa; Además, acepta la hipótesis que una precipitación de una cierta duración produce una escorrentía de la misma duración. A partir de la precipitación pivote, ésta y la escorrentía se comportan de forma lineal y las gráficas de las distribuciones de probabilidad de la lluvia y del caudal son paralelas en un papel de probabilidad de Gumbel.

Sin embargo, para dar continuidad es fundamental conocer los diferentes sistemas de alerta temprana existentes, como un conjunto de procedimientos destinados a proteger las vidas humanas y reducir al mínimo los daños que se esperan de una creciente, la transmisión de la advertencia a las personas que evalúan esta y la conversión de la advertencia en medidas correctivas como lo presenta (Plate, 2007), en su artículo “Early warning and flood forecasting for large rivers with the lower” en el cual, para cada uno de estos componentes se debe trabajar de manera eficaz para un sistema de alerta temprana exitosa. En definitiva, este tipo de estudios de crecientes no solamente resultan de la aplicación de conceptos técnicos y modelaciones especializadas, sino que implica la necesidad de desarrollar criterios ingenieriles suficientes con elementos aprendidos para el desarrollo de diseños que hagan efectivas las estructuras por el bien de la comunidad.

En Colombia y especialmente en la ciudad de Bogotá, (EM-DAT, 2011) el uso de los sistemas de información geográfica para el ordenamiento territorial y el estudio de amenazas es un tema relativamente nuevo y han sido usados principalmente por las entidades estatales, como son Secretaria Distrital de Planeación – SDP, Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE y a nivel nacional El Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, entre otros, los cuales consideran que se tiene una reducida capacidad en estudio de inundaciones y con escasa instrumentación para determinar precipitaciones en cuencas, por eso la necesidad de desarrollar trabajos, reconocer los procesos ocurridos en la reserva, caracterizar su comportamiento y determinar su grado de actividad.

EM-DAT, (2011) destacó que, en Colombia, las inundaciones son los eventos naturales más frecuentes y reconocidas como la amenaza “socio-natural” que ha generado mayor afectación en la historia del país, teniendo en cuenta su alta recurrencia, las grandes extensiones territoriales involucradas y la cantidad de población que resulta afectada. Además, se tiene que las inundaciones se encuentran en el primer lugar entre los diez (10) mayores desastres naturales en el período comprendido entre los años 1900 y 2011 por el número de personas afectadas y el segundo lugar por la cantidad de pérdidas económicas. Además, Colombia ocupa el octavo y noveno lugar a nivel mundial por el número de muertos y víctimas respectivamente, generados por desastres hidrológicos (Guha-Sapir et al, Dartmouth, 2011).

Así mismo, en el trabajo “Avenidas torrenciales, una amenaza potencial en el valle de Aburrá” realizado por la (Universidad Nacional, 2009), relató algunas experiencias de tipo de amenaza por crecientes donde las condiciones geomorfológicas y climáticas llamó la atención particularmente aquellas cuencas que ya han sido prácticamente ocupadas en las zonas de acumulación por la inadecuada intervención del hombre, sometiendo estas zonas a presión constructiva, sin tener en cuenta los impactos negativos, por tal motivo decidieron emprender una serie de investigaciones interdisciplinarias de estos fenómenos con el fin de tener la información suficiente y necesaria para adelantar evaluaciones de amenaza.

Otro estudio interesante es el desarrollado por Robayo (2014) en el cual menciona que por medio de los sistemas de información geográfica y el análisis hidráulico de la sección del cauce, se genera un mapa de amenaza por inundación, en el cual será fácil la localización de las diferentes zonas de estudio, accediendo a toda la información disponible y así identificar correctamente las amenazas, de igual forma asegura que servirá de herramienta para la toma de decisiones a la hora de mitigar los riesgos producto de la amenaza y la vulnerabilidad de la zona de estudio.

(JICA, 2009) hizo una descripción general del comportamiento de los sistemas de alerta temprana para las quebradas Chiguaza, Santa Librada, Yomasa, la Estrella, el río Soacha y el río Tibánica; Quintero (2010) en su proyecto tuvo en cuenta la suficiente aptitud para simular satisfactoriamente el comportamiento hidrológico del río Bogotá con gran aceptabilidad en condiciones de flujo permanente, el cual le permitió describir cualitativa y cuantitativamente la respuesta del sistema hídrico ante un evento extremo de inundación, tomando secciones transversales de los dos tramos de estudio que son más susceptibles a ser afectados por desbordamientos e inundaciones.

A nivel regional, (Rivera, 2015) desarrollaron “Bochalema – sistema de alerta temprana” cuyo objetivo fue diseñar el Sistema de Alerta Temprana (SAT) para el municipio de Bochalema, convirtiéndose en una herramienta base y de gran valor para la obtención de información sobre los eventos que se puedan presentar, realizando levantamientos de información hidrometeorológica, y comunitaria de la zona de estudio, así mismo, estimaron el comportamiento de las precipitaciones máximas (curvas IDF) y caudales máximos aplicando análisis estadístico, mediante el software Hec-Ras. Los resultados del modelo determinaron las planicies de los lugares susceptibles a inundación y sus riesgos como herramientas necesarias para dar seguimiento a cada amenaza que se presenta en la zona.

Suarez, Rivera y Delgado (2017), cuyo objetivo fue identificar y analizar los factores que intervienen en el transporte de sedimentos en el río La Plata. Siendo unos de los factores más relevantes la turbulencia del agua, velocidad de caída del grano, tamaño, peso específico, densidad, forma, pluviosidad, entre otros. Además, desarrollaron la modelación y simulación de la microcuenca río La Plata del municipio de Mutiscua, a partir del levantamiento topográfico efectuado en campo, permitiéndoles reconocer las zonas vulnerables y propensas al riesgo por inundación y falla en las estructuras hidráulicas, para la generación de modelos y estrategias de prevención, cuidado y protección ambiental, social y económica de la región.

Por parte de la Corporación Autónoma Regional Del Nororiente Colombiano (CORPONOR, 1997), quien desarrollo investigaciones en las cuales hizo referencia a la microcuenca La Viuda, entre ellos se encuentran el Plan de Manejo, con objetivo el cual era proteger, recuperar y mejorar el equilibrio ecológico de los recursos naturales de esta zona, detectando una serie problemas ambientales, donde realizarían un total de 12 proyectos orientados a mejorar el estado de los recursos naturales de la microcuenca, así como el aumento de la calidad de vida de los habitantes. De hecho, de este plan de manejo no se tiene registro de haber sido ejecutado, por lo que en la actualidad aún persisten los problemas. Además, la misma corporación en el año 2001 desarrollaron “La reglamentación uso el agua en las quebradas La Viuda y El Arpero de la cuenca del río Chitagá”, ubicada en el municipio de Chitagá, Departamento de Norte de Santander, con el fin de dar una adecuada distribución del recurso hídrico, en forma equitativa, para cada uno de los diferentes usos que demandan los usuarios, así como dar un diagnóstico sobre el estado actual de la oferta y la demanda de la microcuenca en estudio. Con este proyecto se logró determinar la cantidad del recurso hídrico necesario para que cada usuario lograra satisfacer sus necesidades básicas y sus actividades económicas. El paso a seguir por los usuarios era la legalización del caudal determinado en el estudio para cada predio, con CORPONOR, a través de los permisos de concesión de aguas, siendo respetada por la minoría de los beneficiarios.

Finalmente, (Medina M, 2010) en su estudio “Formulación del plan de manejo ambiental de las microcuencas de las quebradas La Viuda Y El Arpero, Ubicada en el Municipio de Chitagá, Departamento de Norte De Santander” expresa la importancia de estas dos fuentes hídricas para el municipio de Chitagá y su problemática de sobre explotación, donde afirma que han venido siendo explotadas de manera reiterada y sin ninguna planificación por parte de la población asentada sobre el área que ellas cubren, aumentando así el grado de degradación, a través del uso de sistemas agro productivos no sostenibles con lo que se propicia la alteración de la calidad del recurso hídrico, a través de la incorporación de contaminantes a los cuerpos de agua, debido al aumento de la frontera agrícola; a la disminución de la cobertura en bosques de las zonas de protección, al aumento por consecuencia de las áreas expuestas a una mayor evaporación.

En el Plan de manejo de gestión del riesgo de desastres se llevó a cabo un estudio llamado “caracterización general del escenario de riesgo por movimientos en masa en la cabecera municipal” este análisis se llevó acabo debido a las fuertes lluvias de la región se han incrementado y por problemas en la periferia del mismo, por la cercanía de unas viviendas a la quebrada La Viuda, a su vez manifiesta que el Municipio de Chitagá, históricamente no registra un alto número de emergencias de gran relevancia, pero si se encuentra susceptible a desastres naturales y no naturales que incorporan daños, los cuales generan y/o agudizan crisis sociales, que la mayoría de las veces propician crisis institucionales. Debido a lo anterior se ven en la necesidad de disminuir

la probabilidad de ocurrencia de estas situaciones que en el futuro se puedan presentar en el municipio (Administración municipal, 2012).

Por lo anteriormente mencionado, se evidencia que no se han realizado investigaciones sobre Análisis de amenaza por crecientes súbitas de la microcuenca La Viuda, municipio de Chitagá, Norte de Santander, por lo tanto, se considera fundamental para la elaboración de este mapa, conocer las características físicas y geomorfológicas de la microcuenca y a su vez el comportamiento del cauce principal. Por esta razón se desarrolló la presente investigación en el semillero de investigaciones ambientales Agua, Aire y Suelo (SIAAS) como opción de trabajo de grado.

6.3. MARCO TEORICO

Para realizar un análisis de amenazas por crecientes súbitas en el municipio de Chitagá, Norte de Santander es necesario contar con bases o fundamentos teóricas que a continuación se abordan:

➤ CRECIENTE SÚBITA

El concepto de avenida o crecida de un río, expuesto por (Ollero Ojeda Alfredo, 1997)⁸, es un proceso natural, sin periodicidad y de grandes consecuencias ambientales, establecido por un aumento importante y repentino de caudal en un sistema fluvial. Además, a su paso lleva consigo un ascenso del nivel de la corriente, que puede desbordar el cauce, generando estas situaciones un estrés hídrico, un aumento del caudal, dando como resultado según Garzón (1987), procesos de erosión, transporte de sedimentos en la evolución de la cuenca.

Así mismo, (INGEOMINAS, 1996) considera que las crecientes súbitas, son una amenaza natural muy común y posiblemente la menos estudiada en Colombia; sin embargo, causan grandes pérdidas en vidas humanas e infraestructura. Solamente entre 1985 y 1995, más de 40 avenidas torrenciales altamente destructivas ocurrieron en el país, con más de 200 pérdidas de vidas humanas y cuantiosos daños a viviendas, sistemas de generación de energía, carreteras y tierras cultivables. Entre las razones que existen para que este tipo de evento sea tan dañino se encuentran: La rapidez en la cual ocurre, su corta duración y su largo período de retorno, así como su distribución poco uniforme en el espacio y el tiempo.

Para definir un proceso hidrológico como crecida es indispensable asociarlo a precipitaciones elevadas, siendo González (2016), quien define a las crecientes súbitas como el proceso presentado en una inundación rápida con caudal considerablemente alto en un área normalmente seca, o una crecida rápida del nivel del agua de un río o quebrada por encima del nivel de inundación establecido.

Otro concepto sobre crecientes es el dado por Bateman (2007), es decir, es el tiempo e intensidad de la lluvia que incide en el aumento súbito de la denominada avenida o creciente, la cual es característica de la precipitación. Además, Pardé (1961), lo explica como un hecho hidrológico extremadamente rápido y violento, con un tiempo de concentración mínimo, que provoca (altas velocidades, rotura de represamiento, erosión, etc.), generalmente en zonas de montaña con fuertes

pendientes, con enorme capacidad de erosión, transporte de sedimentos y alta peligrosidad por la dificultad de predicción, de manera que no hay tiempo para reaccionar. Hay que mencionar, que estos hechos terminan socavando el lecho y las márgenes del río o quebrada, también pueden originarse a partir de represamientos ocasionados por deslizamientos o desprendimientos en las partes altas de la cuenca, que al romperse libera una gran cantidad de agua y sedimentos, que se depositan en áreas de menor pendiente y menos encañonadas de manera súbita.

❖ FACTORES QUE INCIDEN EN LAS CRECIENTES SÚBITAS

Una de las facetas clásicas de la hidrología ha sido la importancia de los datos requeridos como son los datos pluviométricos, con los cuales se quiere demostrar la influencia de la precipitación en el caudal pico del tramo. Siendo esta la clave empleada para la evaluación y análisis de la acción de la tormenta y posteriormente el evento de crecida en tiempo real, Hibbert, (1967); Bosh & Hewlett, (1982); Ruiz & Gallart, (1997).

✓ PRECIPITACIÓN

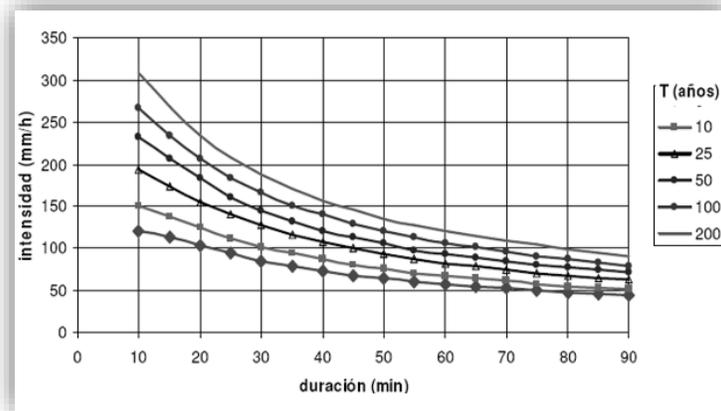
La precipitación definida por Monsalve (1995), se refiere a todas las formas de humedad procedente de la atmosfera y depositada en la superficie terrestre, tales como lluvia, granizo, rocío, nieve, neblina o helada. La precipitación es la variable con mayor incidencia, en las avenidas torrenciales o crecientes súbitas, según Morgan, (1997), cuando un evento de lluvias supera valores de precipitación pico en pocas horas, debido a variables como la lluvia la cual contribuye a la escorrentía, la cantidad de agua caída (mm) e intensidad de la tormenta (mm/h), son las que determinan la agresividad del evento. Esto genera saturación de los materiales de las laderas facilitando el desprendimiento del suelo, produciéndose de esta manera, numerosos desgarres superficiales y deslizamientos cuyo material cae al cauce y es transportado inmediatamente aguas abajo y es transportado fuertemente de forma imprevista. Sin embargo, (Chow, 1994), manifiesta que no todas las tormentas son iguales, existen algunas más violentas que otras. Puesto que una tormenta cuya intensidad es relativamente baja, las tasas de infiltración no serán superadas, y así no producirá escurrimiento superficial.

De acuerdo con Aparicio (2004), las crecientes de los ríos, hay que atribuirles en primera medida a un excedente de agua, provocada por lluvias torrenciales repentinas, fenómeno que sólo o en combinación con otros factores locales consiguen que los ríos superen sus márgenes, de tal forma que para desarrollar su cuantificación se debe analizar brevemente uno de los métodos para estudiar las precipitaciones y conocer su distribución temporal.

Dicho lo anterior, para (Koutsoyiannis, 1998) se debe estimar el comportamiento de las precipitaciones máximas, este mediante la utilización de las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF), según lo indicado por (Pizarro, 2013) estas son la representación gráfica de la relación existente entre la altura o intensidad de precipitación en las ordenadas y la duración de un evento máximo de lluvia en las abscisas, asociado a la frecuencia o el periodo de retorno donde cada periodo de retorno genera una curva diferente (Grafico 1) estas curvas son herramientas ampliamente utilizadas en ingeniería para fines de planeación, diseño y operación de los proyectos hidráulicos. (Smith, 1993), considera el análisis de las curvas (IDF) base fundamental para la

realización y proyección de obras de ingeniería contra avenidas máximas y caudales máximos, ya que controlan los escurrimientos generados por las tormentas, y son ampliamente usadas para estimar las avenidas por creciente súbitas.

Gráfico 1. Curvas IDF



Fuente: Pizarro (2007).

Al respecto al concepto de intensidad I (ecuación 1), planteado por (Chow, 1994), se refiere al volumen de precipitación o altura equivalente de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h).

$$I = \frac{P}{T_d} \quad \text{Ec (1)}$$

Donde, I - Intensidad de lluvia en (mm/h), P - profundidad de lluvia en (mm), y T_d - duración de la lluvia, dada usualmente en (h), tiempo comprendido entre el comienzo y el final de la precipitación que varía según la distribución espacial considerado como evento, por consiguiente, la frecuencia (f) representa el número de veces que se repite una tormenta de características de intensidad y duración definida en un período de tiempo más o menos largo.

En definitiva, el gráfico representa y evalúa el conjunto estadístico de caudales máximos en términos de probabilidades de excedencia en una crecida, puesto que es importante señalar, cuando sólo se dispone de un pluviómetro en una estación, es indudable que sólo se pueda estar al tanto de la intensidad media por 24 horas. Como se comprenderá, esta información puede inducir a grandes errores por defecto, por cuanto las lluvias de corta duración son, en general, las más intensas (Chow, 1994).

La construcción de las **curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)**, según diversos autores, plantean distintas formas o métodos para su construcción. Entre ellos, esta Aparicio (1997), quien considera que existen dos métodos; el primero, llamado de intensidad - período de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado, mediante alguna de las funciones

de distribución de probabilidad usadas en hidrología. El otro método relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas (ecuación 2)

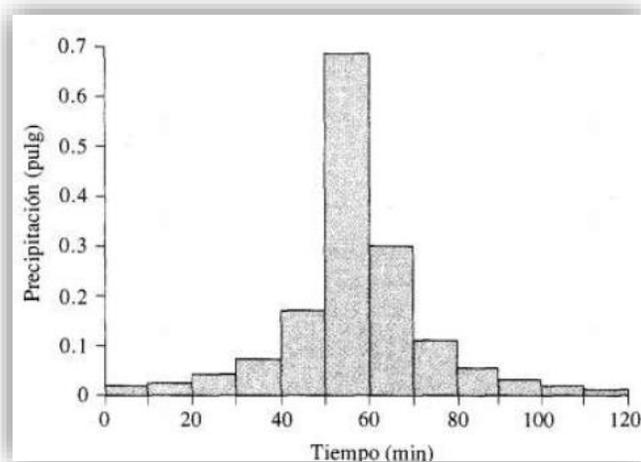
$$I = \frac{k \cdot T}{(d + c)^n} \quad \text{Ec (2)}$$

Donde, I - intensidad de precipitación, d - duración, y en tanto que, para k, m, n y c, - valores constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple respectivamente.

Al mismo tiempo, (Chow, 1994), propone dos formas de trabajar con las curvas. La primera, maneja un análisis de frecuencia de la lluvia, considerando para ello una función de distribución de probabilidad de valor extremo como la función Gumbel. El segundo método, expresa las curvas IDF como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica.

Otro factor a considerar es el **Hietograma**, explicado como un gráfico que expresa precipitación en función del tiempo. En la ordenada se presenta la precipitación caída (mm) o la intensidad de precipitación (mm/hora). Según Sanchez, (2008) es un gráfico de barras que denominamos histograma (Gráfico 2) aunque este también puede ser representado mediante un gráfico de línea; este puede mostrar un día, meses, años o una tormenta concreta en el tiempo (Abscisas). Por otra parte, para su elaboración, si se trata de un Hietograma mensual o anual, bastará con representación de datos diarios partir de un registro temporal de precipitaciones, donde cada crecida presenta una distinta progresión desde su origen hasta el final de proceso, pero si en su defecto es un Hietograma para un día o unas horas de duración, se hace necesario implementar una banda de pluviógrafo para leer la precipitación de caída en los intervalos elegidos.

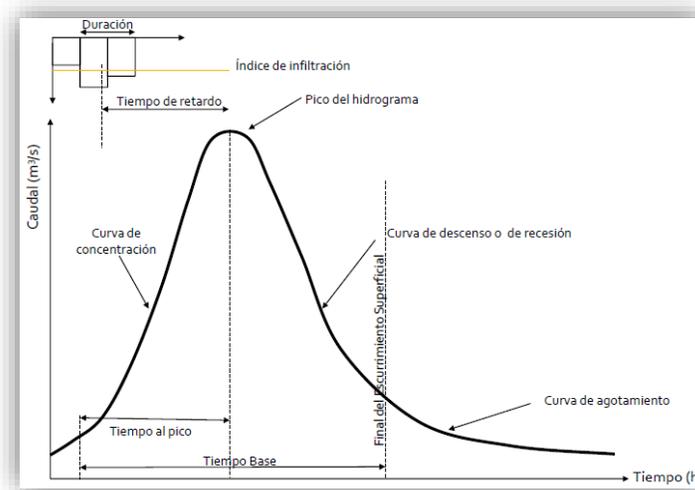
Gráfico 2. Hietograma



Fuente: (Chow, 1994)

Con relación a los **Hidrogramas** (Gráfico 3), se obtiene con un registro temporal de caudales en una sección determinada del curso de agua de una crecida, quien suele presentar una curva de ascenso muy brusca, que refleja un rápido proceso de concentración de caudal, y un descenso lento y paulatino de las aguas (proceso de laminación) tras la punta de crecida. Ahora bien, cada crecida evoluciona de un modo distinto, sus caudales-punta y los desbordamientos varían en los distintos tramos del sistema fluvial. Así mismo la estimación de los hidrogramas de creciente asociados a diferentes períodos de retorno y sus caudales se calcularon a partir del Método del Hidrograma Unitario de la Oficina de Conservación de Suelos Estados Unidos (Chow, 1994)

Gráfico 3. Hidrograma del Servicio de Conservación de Suelos (SCS).



Fuente: Hidrograma SCS citado en Ovalles, (2008)

Estos gráficos presentados por Sánchez. (2013), tienen 4 fases diferenciadas, la primera es la curva de concentración, corresponde a la parte en la cual la curva del hidrograma asciende. La segunda, pico del hidrograma, muestra la zona donde se alcanza el caudal máximo para ese evento y la tercera es la curva de descenso o recesión la cual indica la zona donde se produce una disminución progresiva del caudal. La última fase es la más compleja e importante, se trata de la curva de agotamiento, indica el momento en que toda la escorrentía directa provocada por esas precipitaciones ya ha pasado y el agua aforada a partir de ahí pasará a ser escorrentía básica (Ecuaciones 3, 4 y 5)

$$T_p = 0.5 \cdot D + t_r \sim 0.5 \cdot D + 0.6 \cdot t_c \quad \text{Ec (3)}$$

$$T_b = 2.67 t_p \quad \text{Ec (4)}$$

$$Q_p = (P \cdot A / 1.8 \cdot t_b) \quad \text{Ec (5)}$$

Por otro lado, el **Tiempo de concentración** representa el tiempo en que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida, desde el punto más alejado hasta la desembocadura de la cuenca (Chow & Mays., 1994); así también, el tiempo de concentración depende en gran medida de la forma de la cuenca según lo referencia Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, (1987) en Gaspari (2013). Por lo tanto, Para su determinación matemáticamente existen varias ecuaciones entre las que se destacan las mostradas en la (Tabla 1).

Tabla 1. Principales ecuaciones para determinar el tiempo de concentración

Metodo	DESCRIPCIÓN
<p>Kirpich</p> $t_c = 0,0003245 * (L_{cp})^{0,77} * (P_{mcp})^{-0,385}$	<p>tc= Tiempo de concentración (minutos)</p> <p>L= Longitud del cauce principal (m)</p> <p>S= Pendiente promedio del cauce principal (m/m)</p>
<p>California Culverts Practice</p> $60 * \left[\frac{0,87075 * L^3}{H} \right]^{0,385}$	<p>tc= Tiempo de concentración (minutos)</p> <p>L= Longitud del cauce principal (Km)</p>
<p>Bransby - Williams</p> $t_c = 14,6 * L * A^{-0,1} * S^{0,2}$	<p>tc= Tiempo de concentración (minutos)</p> <p>L= Longitud del cauce principal (Km)</p> <p>A= Área de la cuenca (Km2)</p> <p>S= Pendiente promedio del cauce principal (m/m)</p>

Fuente: Moreno. H & Gisbert. J, 2011.

✓ MONITOREO HIDROMETEOROLOGICO

Registro de Niveles. Son niveles del agua en una corriente (río, quebrada, arroyo o en un cuerpo de agua) a la elevación o altura de la superficie del agua en un punto determinado, Según Monsalve (1995), Para poder tener un registro continuo de la escorrentía es necesario medir el nivel del cauce mediante la colocación de miras o de limnógrafos, las cuales son reglas graduadas que se colocan de tal manera que puedan leerse en cualquier nivel del río. Por lo general se colocan de manera escalonada en los bancos del cauce, así mismo, la medición del nivel sirve para conocer la cantidad de agua que esta almacenada, tener una aproximación al nivel de caudal que cruza por una corriente dada y evaluar en qué nivel se torna peligroso, pues se puede provocar un desbordamiento o avenida torrencial, debido al aumento del caudal, si se guardan los valores previos del nivel se pueden realizar estudios posteriores, para el pronóstico de inundaciones o crecientes.

Caudal. De acuerdo con Villón B. (1998), el caudal es una cantidad de agua en una sección transversal de un conducto (río, riachuelo, canal, tubería), tomada en determinado tiempo. Este concepto permite cuantificar la oferta hídrica, para determinar las afectaciones (el área de la sección de la corriente transversal y la velocidad del flujo en un periodo de retorno determinado, para así contrastar los datos tomados con anterioridad y evaluar el comportamiento del cauce. Como factores que intervienen en la medición del caudal tenemos:

- Métodos De Aforo: Para, Pino & Bello (2000), son los diferentes métodos con los cuales podemos medir el agua superficial de una escorrentía en un determinado periodo de tiempo representado por la (Ecuación 6)

$$Q=A*V \quad \text{Ec (6)}$$

Dónde, (Q) es el caudal en m²/s, (A) el área de la sección transversal en m² y (V) la velocidad promedio del agua en m/s respectivamente.

- Método de volumen y tiempo: Este se denomina método volumétrico y consiste en hacer pasar una corriente de agua a un recipiente que sea capaz de contenerlo en un tiempo reducido; el caudal aforado será la relación entre el volumen captado y el tiempo empleado en la captación, finalmente el método volumétrico resulta bueno para corrientes de agua pequeñas, especialmente en zonas de ladera en donde los caudales son de poca magnitud y el relieve ayuda para producir la descarga que se necesita (Ecuación 7).

$$Q=V/t \quad \text{Ec (7)}$$

Donde, Q - el caudal en m²/s, (V) el volumen captado m³, y t - tiempo empleado en s.

- Flotador. Este método relaciona el área de la sección que transporta el agua y la velocidad de escurrimiento(Ecuación 8), de igual manera se utiliza en canales y da sólo una medida aproximada de los caudales, siendo necesario el uso de otros métodos cuando se requiere mayor precisión, como primera medida, se elige un tramo del canal que sea recto y de sección transversal uniforme, entre 10 y 30 metros de largo, donde el agua escurra libremente, luego se debe determinar la velocidad que lleva el agua en esa sección, se marca en el terreno la longitud elegida y se toma el tiempo que demora un flotador en recorrerla, como flotador se puede usar cualquier objeto que sea capaz de permanecer suspendido en el agua, como un trozo de madera, corcho u otro material similar, que no ofrezca gran resistencia al contacto con el aire y que se deje arrastrar fácilmente por la corriente de agua.

$$V=L/t \quad \text{Ec (8)}$$

$$Q=A*V$$

Donde, Q es el caudal en m²/s, L es la longitud del tramo m, t es el tiempo empleado en segundos, A es el área de la sección transversal en m² y V es la velocidad promedio del agua en m/s

- Aforo Con Trazadores Fluorescentes o Colorantes. La utilización de colorantes para medir la velocidad del flujo en corrientes de agua es uno de los métodos más sencillos y de mayor éxito. Una vez designada la sección de aforo, en la que el flujo es prácticamente constante y uniforme se añade el colorante en el extremo de aguas arriba y se mide el tiempo de llegada al extremo de aguas abajo. Conocida la distancia entre los dos extremos de control, se puede dividir esta por el tiempo de viaje del colorante, obteniéndose así la velocidad superficial, La velocidad media de flujo se obtendrá dividiendo la distancia entre los dos extremos o puntos de control, por el tiempo medio de recorrido, así mismo se da a conocer

el nombre de los trazadores más usados, la fluoresceína, el rojo Congo, el permanganato de potasio, la rodamina B, rodamina WT, las sulforodaminas B y G la uramina y el bromuro 82., azul de metileno y el pontacil rosa B brillante.

➤ CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS

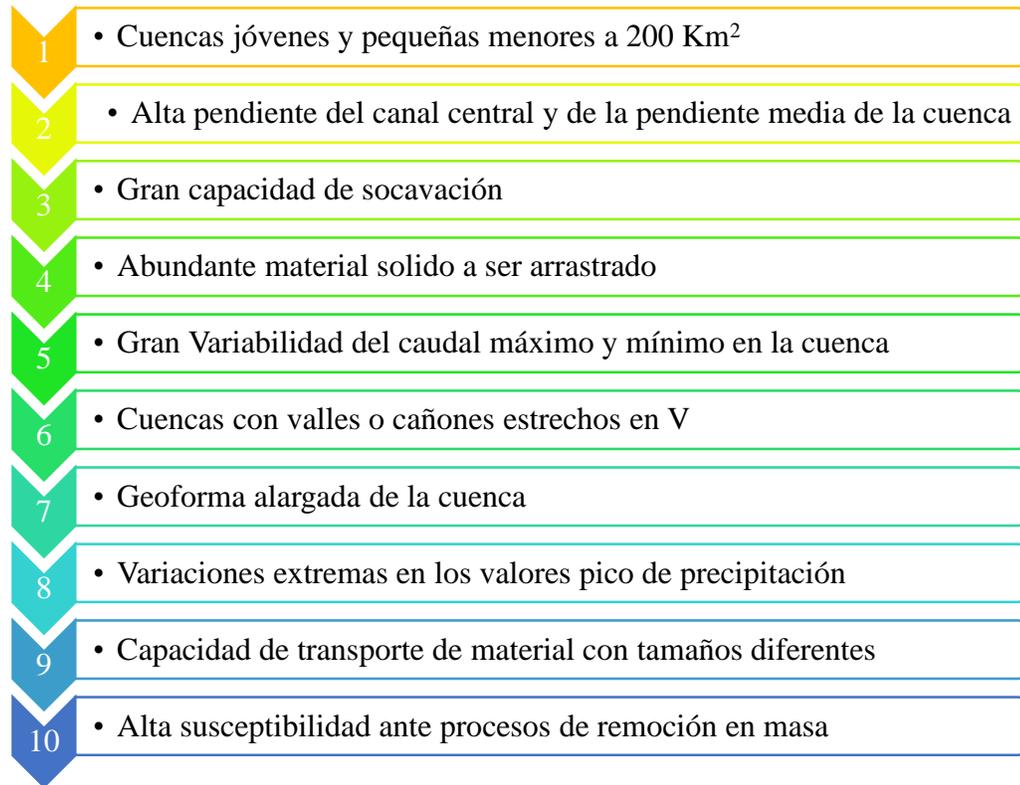
El análisis morfométrico de una cuenca es primordial para entender e interpretar su comportamiento morfo dinámico e hidrológico, según Escobar (2010) estos elementos físicos proporcionan la posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico, así como para deducir indirectamente la estructura, las características y formas de los hidrogramas resultantes de eventos de crecidas. También permiten analizar y comprender los elementos geométricos básicos del sistema, que ante la presencia de externalidades como precipitaciones extremas interactúa para originar procesos de remoción en masa, crecientes e inundaciones. Estas características según Rizo (1995), tratan de cuantificar por medio de índices o coeficientes, el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal eventualidad, dado que un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial es la forma de la cuenca quien guarda relación con el comportamiento hidrológico. Además, aquellas cuencas con formas alargadas tienden a presentar un flujo de agua más veloz, en comparación con las cuencas redondeadas, logrando una evacuación de la cuenca más rápida y mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos.

En resumen, las características de la cuenca, describe y representa el comportamiento de los cuerpos de agua y sus posibles variaciones con respecto al régimen hidrológico, sirve de información básica para precisar y cuantificar el conjunto de indicadores para el seguimiento, monitoreo y evaluación de resultados ante eventos de avenidas torrenciales, es decir, son la base para el diagnóstico, donde se identifican y prevalecen los principales problemas de la cuenca, más aun se logra identificar sus causas, consecuencias, para dar posibles soluciones.

Hena M. (2011), manifiesta los múltiples factores asociados para la evaluación de torrencialidad o crecientes, principalmente confluyen dos características. La primera relacionada con los parámetros morfométricos propios de una cuenca y la segunda, bajo los siguientes aspectos: climatología, geología, geomorfología, hidrología e hidráulica. Por otro lado, el marco natural de la cuenca debe realizarse en forma escalonada en el espacio, debido a la información obtenida por el primero sirve de base al que le sigue, de ahí que los parámetros morfométricos de las cuencas dependen de la forma, el relieve, la red hídrica, tipo y uso del suelo.

A continuación, se señalan algunas de las características que posee una cuenca susceptible ante una avenida torrencial (Tabla 2).

Tabla 2.Características de una cuenca susceptible ante una avenida torrencial o creciente súbita.



Fuente: CORNARE, (2012).

Con respecto a lo descrito anteriormente,

Otros factores desencadenantes, son principalmente fenómenos hidrometeorológicos planteados por Olcina (1994), descritos así:

- ❖ Precipitaciones tempestuosas breves e intensas.
- ❖ Precipitaciones más extendidas y duraderas, de carácter ciclónico orográfico, que generan crecidas generales, de mucha extensión espacial.
- ❖ Previa obstrucción natural del cauce por procesos de vertiente: movimientos en masa o conos enfrentados de dos afluentes que cierran el valle principal.
- ❖ Los cambios generados en el cauce como la morfología del lecho fluvial, geometría hidráulica, cambios históricos, procesos naturales, presencia de infraestructuras.
- ❖ Hay otras causas de crecida que no tienen carácter hidrometeorológicos y que Pardé (1961), definió como debacles, refiriéndose a la liberación brusca de aguas represadas.

➤ COBERTURA VEGETAL

Otro componente de gran importancia, es la Cobertura vegetal definida por USDA (1954) & USDA (1957), como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo

una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos y que condiciona el proceso de crecientes súbitas en una cuenca, consiste en evaluar y analizar el estado de la cobertura suelo, en un determinado tiempo e identificar los factores de incidencia a los cambios o alteraciones efectuados. Dicho de otra forma, la cobertura vegetal del suelo, constituye un efecto como capa protectora y reguladora entre el suelo y las precipitaciones, siendo este uno de los principales factores de los procesos de erosión, colmatación de sedimentos, deslizamiento de laderas debido a los efectos producidos por la deforestación y la pérdida parcial o total de la cobertura lo que conlleva a que el agua fluya rápidamente hacia los arroyos y eleve el nivel del agua de la quebrada o río, menospreciando los efectos positivos que produce la vegetación.

FAO (1985) asegura que el flujo regular del agua, ayuda a mantener la estabilidad del terreno y evita su degradación, además de retener los suelos ya que las raíces cohesionan las partículas del suelo y disminuyen la desintegración de los niveles superficiales, todo esto depende del tipo de vegetación que cada cuenca presente siendo la altura y continuidad de la copa de los árboles, la más efectiva, así como la densidad de la cobertura superficial (pastos, hierbas y arbustos), debido a que las gotas de lluvia disipan su energía y el impacto directo sobre la superficie, en general más suave, y principalmente reduce la velocidad de escurrimiento permitiendo que estas gotas viajen cada vez más despacio, por lo que (Muñoz., 2001) describen a cuencas con características de pendientes altas y aún conservan completamente su capa protectora como lo es la vegetación nativa de la zona, presentan una baja posibilidad a que presenten eventos relacionados con erosión, deslizamientos, y avenidas torrenciales.

Por otra parte, el conocimiento de la cobertura y uso de la tierra constituye uno de los aspectos más importantes dentro del análisis de crecientes en una cuenca, por ser indispensable no solo en la caracterización de las unidades de paisaje, sino también, por su influencia en la formación y evolución de los suelos.

➤ **CONSECUENCIAS DE LOS PROCESOS DE CRECIENTE SÚBITAS**

A continuación, (Ollero Ojeda Alfredo, 1997), plantea unas de las consecuencias más representativas de los procesos de crecientes.

- ❖ La carga sólida, como consecuencia de todos estos procesos se movilizan grandes cantidades de materiales sólidos desde la cabecera de la cuenca, dificultando la circulación del caudal líquido (turbidez) e incrementa el poder erosivo de la corriente Laganier, (1990).
- ❖ Se presentan una gran aceleración en los cauces, aumentando con ello los procesos de erosión, transporte y sedimentación, prevaleciendo los procesos de erosión, tanto en las orillas como en el fondo del lecho, conforme aumenta la profundidad de la corriente, también se depositan los materiales.
- ❖ Una de las consecuencias más importantes hace referencia a la geomorfología, quien se modifica debido al desbordamiento presentado, que generan cambio de material y numerosas microformas de relieve.

- ❖ El resultado son acumulaciones de gravas, inicios de nuevos cauces, encharcamientos, profundos, socavones, corrimientos de tierras, arranque de árboles, y materiales arrastrados, etc.
- ❖ Cuando las aguas quedan encharcando el terreno durante largos periodos de tiempo se produce la sedimentación por decantación de los materiales finos que el río transportaba en suspensión.
- ❖ Variaciones en la geometría y trazado de cauces. Para que se produzcan estas drásticas variaciones es preciso que la crecida sea voluminosa y persistente.
- ❖ Las consecuencias en el medio biótico son enormes. La muerte y arrastre de innumerables seres vivos, animales y vegetales, convierte a las crecidas en procesos de gran importancia en el control demográfico de muchas especies.
- ❖ Por otro lado, las crecidas renuevan el ambiente fluvial y los hábitats, favoreciendo la
- ❖ Defensas y tramos encauzados dirigen las aguas de crecida y los efectos contra los tramos desprotegidos aguas abajo.
- ❖ Los procesos de impermeabilización del terreno (urbanización) incrementan la escorrentía, y con ello el volumen y velocidad de la crecida.
- ❖ La deforestación, los cultivos, los movimientos de tierras en obras, provocan incrementos del caudal sólido.
- ❖ El arrastre por las aguas de crecida de elementos antrópicos contaminantes genera contaminación de cauce.

➤ **SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZAS ANTE LA CRECIENTE SUBITA**

✓ **SUSCEPTIBILIDAD**

Es la debilidad de determinadas zonas a resistir o soportar precipitaciones elevadas generadoras de crecidas, En el concepto de susceptibilidad, al contrario que en el de amenaza, no se tienen en cuenta la frecuencia ni la magnitud del evento. El Ministerio de Medio Ambiente Colombia (2014) considera que la Susceptibilidad es el grado de fragilidad de los diferentes elementos y sectores (económico, social y ambiental) para soportar los eventos amenazantes involucrados dentro del estudio de cuencas hidrográficas, la susceptibilidad hace referencia a la mayor o menor tendencia a que un evento suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico. Así mismo para Alarcón, Richard, Bastidas & Narváez (2016), la susceptibilidad está determinada por el caos en el régimen climático, conflictos por uso inadecuado del suelo, la falta de cobertura, y otros factores que pueden detonar fenómenos adicionales de deslizamientos, represamiento y consecuentes avalanchas, y por supuesto, la potencialidad de afectación es mayor. Para la estimación del índice de susceptibilidad es necesario considerar factores importantes como lo son: la pendiente, suelo, cobertura, geomorfología y geología de la cuenca en estudio. En otras palabras, la susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno, es una propiedad que indica qué tan favorable o desfavorable son las condiciones en las que puede ocurrir un evento.

✓ ZONIFICACIÓN

Según Varnes (1984), indica que es la división de la superficie del terreno en áreas y la clasificación de acuerdo con el grado actual o potencial de amenaza, las zonificaciones geotécnicas se presentan como un importante instrumento técnico que permite definir aspectos como: estimación de grado de amenaza por factores naturales y antrópicas, Según Forero & Dueñas (1994), el término zonificación se puede entender como la subdivisión de un área bajo un criterio establecido, produciéndose una sectorización de acuerdo con los niveles o valores de ese criterio. La zonificación geotécnica consiste en delimitar sectores relativamente homogéneos, con características físico-mecánicas similares, donde se identifican parámetros fundamentales que prevén algunos problemas constructivos que pueden presentarse, además permite conocer la aptitud del terreno para los diferentes usos.

✓ AMENAZA

BID (2003), describe amenaza como el Peligro latente que representa la posible manifestación dentro de un periodo de tiempo de un fenómeno peligroso de origen natural, tecnológico o antrópico, que puede producir efectos contrarios en el ambiente. Además, se expresa como la probabilidad de que un evento se presente con una cierta intensidad, en un sitio determinado y dentro de un periodo de tiempo definido. Cabe destacar que Cardona, (2002), la conceptualiza como el factor de riesgo externamente al que se puede ver expuesto un sistema y que se puede expresar en forma matemática como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso con una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exhibición definitivo. La amenaza debe ser evaluada en términos de magnitud caudal o nivel del agua, de igual manera se debe conocer cuando ocurrieron fenómenos similares, la intensidad y magnitud de los mismos, las zonas donde pueden ocurrir procesos futuros y su frecuencia. Para esta última parte se necesita, conocer el período de retorno a partir de datos o series históricas y/o herramientas del conocimiento de los factores que desencadenan el evento en particular.

La amenaza o peligrosidad también se puede expresar en función del período de retorno, asociado al evento analizado, el cual puede definirse como el tiempo transcurrido entre la ocurrencia de dos eventos consecuentes, de igual magnitud o de características parecidas. De acuerdo a la Ley 1523 de 2012 la amenaza se define como “Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas de bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales” Suarez (1998).

- Amenazas Hidrológicas

Las amenazas de origen hidrológico son todas aquellas que tienen que ver con las manifestaciones peligrosas de la actividad atmosférica e hídrica del planeta. Aquí entran las actividades de precipitación, crecientes súbitas, inundaciones, desbordamientos, colmataciones, encharcamientos, también se hace referencia a sitios en donde se presentan cambios bruscos en el nivel y/o curso del agua y divagaciones de cauce que se producen las corrientes, al sobrepasar la

capacidad de retención del suelo, los cauces se desbordan y cubren los terrenos relativamente planos que se encuentran aledaños a las riberas de los ríos y quebradas.

El movimiento de los fluidos puede clasificarse de muchas maneras, según (Chow, 1994), los identifican diferentes características, teniendo en primer lugar Flujo turbulento, el cual puede incrementarse o amortiguarse en el tiempo, en este tipo de flujo las partículas se mueven en trayectos muy irregulares sin seguir un orden determinado, ocasionando la transferencia de una porción de fluido a otra, de modo equivalente, pero a una escala mayor. En este tipo de flujo, las partículas pueden tener tamaños que van desde muy pequeñas, del orden de unos cuantos millares de moléculas, hasta las muy grandes, del orden de millares de pies cúbicos en un gran remolino dentro de un río o en una ráfaga de viento. Este tipo de flujo es un factor determinante en las crecientes súbitas o avenidas torrenciales debido a que su movimiento brusco y acelerado provoca que el cauce modifique su trayectoria natural y produzca el arrastre de detritos, sedimentos, material vegetal entre otros.

➤ **HIDRAULICA**

Para Morris (2006), es una rama de la física y la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa (fuerza) y empuje de la misma, es primordial para el análisis de crecientes en una canal. Su aplicación está dada en la determinación de las secciones transversales de la red hídrica levantadas en campo, durante el tiempo de aforo en la zona de estudio; en este estudio hidráulico se analizan los perfiles del flujo y los niveles de la lámina de agua para los diferentes caudales calculados con anterioridad, antes de examinar los datos resultantes se debe realizar una calibración en el ajuste de los datos registrados, este ajuste se realiza variando el coeficiente de rugosidad de Manning, hasta el punto donde el porcentaje de error sea menor del 10%, valor aceptable para la utilización de este modelo.

➤ **MODELACIÓN HIDRAULICA E HIDROLÓGICA**

Para la realización de nuestro modelo hidrológico se decide utilizar los programas que nos permiten con la información recopilada en campo, junto con las imágenes satelitales realizar de manera detallada y precisa la delimitación de la cuenca, para obtener sus características físicas desde un espacio bidimensional y tridimensional, para ello se decide utilizar ArcGis 10.2.2, el cual es un programa que nos permite resolver las necesidades prioritarias, que serán completadas y exportadas al software Hec-Ras 5.0, y su extensión Hec-GeoRas.

✓ ArcGis

Es un “software” de Sistema de Información Geográfica diseñado por la empresa californiana Environmental Systems Research Institute (ESRI). Para (ORDUÑA, 2007), es un sistema completo que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. Este modelo está orientado para representar fenómenos tradicionalmente

geográficos que varían continuamente en el espacio; La delimitación de cuencas hidrográficas se hace imprescindible para análisis territoriales, este software permite hallar a partir de un DEM (Modelo Digital de Elevaciones), con la herramienta *Hydrology* de *Spatial Analyst* de ArcGIS, calcular los parámetros generales de una cuenca como el área, el perímetro, alturas, pendientes, entre otros. De igual manera, sirve para juntar dos o más capas en un solo archivo. Se usa para puntos, líneas o polígonos, útiles para empalmes, tratamiento de imágenes satelitales como es el caso de los usos del suelo y cobertura vegetal, además modela en 2D las secciones transversales de un cauce y según los datos suministrados simular en tiempo real el grado de afectación de un evento hidrológico (crecientes, inundaciones, procesos de erosión...) en estudio.

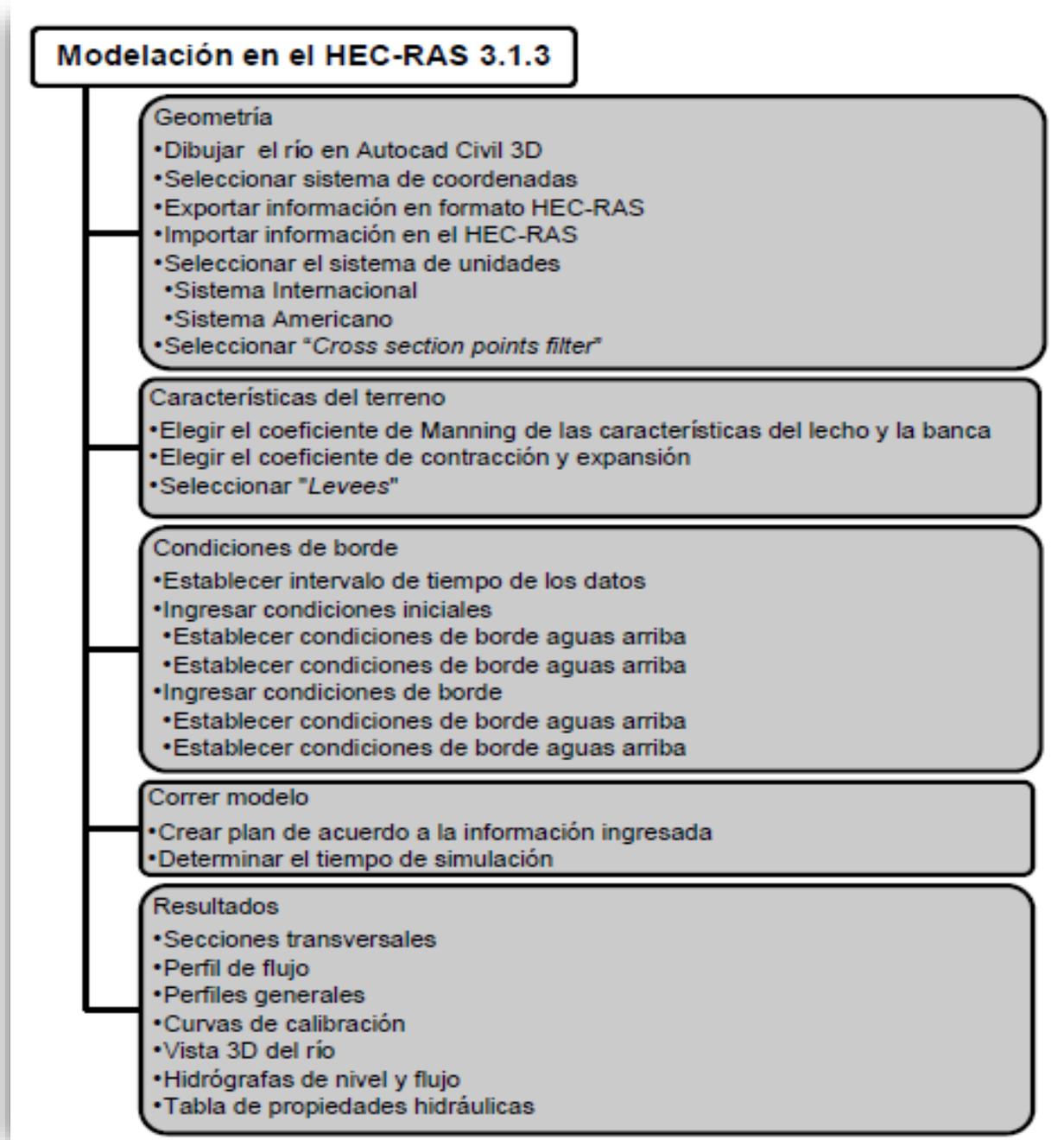
✓ HEC-RAS

Es una herramienta que ha venido evolucionando, en su versión 5.0 (versión beta) cuenta con una extensión que permite simular el flujo de agua combinando modelos 1D/2D, así como totalmente 2D, es un software gratuito de origen estadounidense desarrollado por parte del Cuerpo de Ingenieros de la Armada (US Army Corps of Engineering), donde posee varios programas de computación para la administración de recursos de agua. Una de las novedades de esta nueva versión, es que incorpora la ventana de interface RAS Mapper en la cual el usuario integra el modelo digital del terreno, como paso inicial para la modelización del flujo.

La investigación realizada demuestra la importancia de aplicar el modelo de simulación hidráulica Hec-Ras para la emisión de pronósticos hidrológicos de crecientes e inundaciones en tiempo real, el cual nos permite una modelación hidrológica de las secciones transversales y del perfil del cauce, que busca conocer la posible respuesta del cauce principal, en el caso de que se dé una crecida y esta produzca desbordamiento y poder evaluar la distribución y velocidad con que esta se presente en un tiempo de retorno dado. Este proceso requiere información adicional de las características de flujo, tamaño de los sedimentos (información de granulometría), entre otros.

A continuación, se presenta la metodología requerida para la modelación de las secciones transversales (Imagen 2), con el programa HEC-RAS el cual me permite calcular para las diferentes configuraciones de caudales y simular los niveles de agua, las profundidades de flujo y las velocidades, entre otros variables.

Imagen 2. Metodología para modelar secciones transversales en Hec-Ras



Fuente: Marín (2013)

7. METODOLOGÍA

La metodología a emplear para el desarrollo del estudio de análisis de amenaza por crecientes súbitas de la microcuenca La Viuda, municipio de Chitagá, Norte de Santander, se describe a continuación:

Para el análisis inicial del proyecto se consultó en la oficina de gestión de Riesgo del Municipio de Chitagá la existencia de información sobre crecientes súbitas en la microcuenca La Viuda, sin embargo, esta información que posee no es detallada y precisa, por tal motivo se procedió a recolectar los datos proporcionados por entidades de orden nacional como IDEAM, IGAC, INGEOMINAS, etc. y regional y locales como CORPONOR, Alcaldía Municipal, Defensa Civil Municipal, Junta de Acción Comunal de la zona de estudio. De igual manera, se consultaron estudios realizados a nivel internacional, nacional, regional para analizar las metodologías similares que pueden ser adaptadas y modificadas según las características propias del lugar.

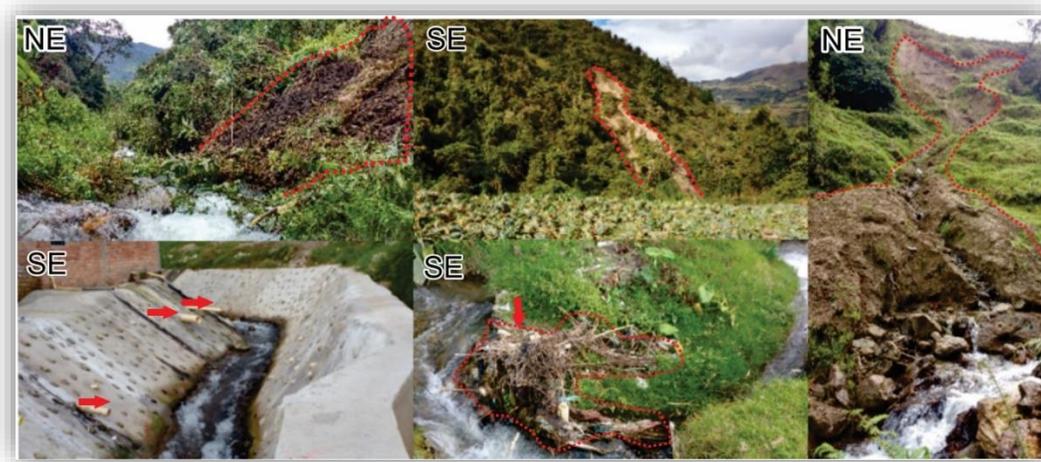
7.1 CARACTERIZAR FÍSICA Y GEOMORFOLÓGICAMENTE LA MICROCUENCA LA VIUDA

Se realizaron tres (3) visitas a la microcuenca La Viuda, efectuándose una de ellas desde el nacimiento hasta su desembocadura, con el fin de obtener información de primera mano, a partir de la observación directa, identificando la problemática existente que permitieron establecer los criterios de selección de ocho (8) puntos de muestreo de sedimentos, aforo y el nivel de lámina. A su vez una estimación de los parámetros como Área de drenaje, longitud, perímetro, ancho de la cuenca, orientación, factor de forma, coeficiente de compacidad e índice de alargamiento, elevación, tiempo de concentración, orden de cauce, densidad de drenaje y coeficiente de torrencialidad entre otros.

➤ TRABAJO DE CAMPO

Inicialmente se hizo un reconocimiento de la zona de estudio, donde se observaron sus características morfométricas, usos del suelo, deslizamientos en la zona, obras de canalización y la influencia del sector urbano dentro de la ronda hídrica en la parte baja de la microcuenca, sumado a esto la contaminación que de allí se deriva y sus posibles afectaciones, ocurridas por las altas precipitaciones en el año 2015 (Fotografía 1).

Fotografía 1. Reconocimiento de la microcuenca La Viuda



Fuente: Villamizar R, (2017).

➤ PARAMETROS GENERALES DE LA CUENCA CON ARCGIS

Se realizó la delimitación de la cuenca, utilizando un modelo digital de elevación (DEM), obtenida del servicio geológico de los estados unidos (USGS), representando visual y matemáticamente la distribución espacial de la zona de estudio, se calcularon los flujos de dirección, luego el flujo de acumulación, así mismo, las líneas de drenaje, utilizando las herramientas: Flow accumulation, Flow direction y Stream Link, del menú Hydrology en software ArcGis 10.2.2 Posteriormente, se obtuvo cada uno de los parámetros relativos a la forma de la cuenca, el cálculo de las áreas parciales en función de las curvas de nivel en intervalos de 50m cada una y finalmente se determinó los parámetros relativos al drenaje tales como la densidad de drenaje en función de la longitud total de los tributarios en km y el área total de la cuenca en km², así como también la curva hipsométrica, Coeficiente de compacidad, relación de elongación, índice de forma, altitud máxima, altitud media, altitud mínima, Tiempo de concentración, entre otras.

7.2 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN Y VARIABILIDAD DE LAS PRECIPITACIONES EN LA MICROCUENCA LA VIUDA.

Se identificaron las estaciones pluviométricas medidoras de los parámetros de precipitación, disponible en las estaciones que conforman la red del (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) IDEAM. En general se consultaron cuatro (4) estaciones pluviométricas consultadas (Los Rincón, Presidente, Cacota, Chitagá), siendo la más representativa la estación denominada “Chitagá” de tipo convencional, categoría pluviométrica con una latitud de: 7.139444 y longitud: -72.664722 a una altura de 2410 m.s.n.m, perteneciente a

la corriente Chitagá, la cual no ha sido suspendida desde el momento de su instalación siendo esta el 15 de febrero de 1958. La información de los parámetros que se miden en ellas se presenta a continuación en la (Tabla 3), mientras que en la (Imagen 3) incluye la ubicación espacial de las mismas para asegurar la idoneidad de la información.

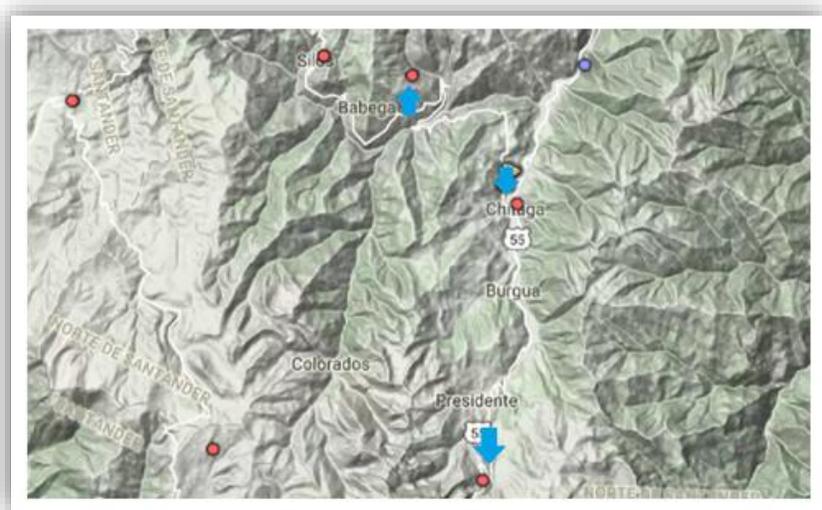
Tabla 3. Estaciones medidoras de parámetros hidrometeorológicos suministrados por el IDEAM

NOMBRE ESTACION	MUNICIPIO	TIPO	LONGITUD	ELEVACION (M.S.N.M)	CODIGO	PERÍODO DE REGISTRO
CHITAGÁ	CHITAGÁ	PM	-72.6647222	2410	37010020	1958-2017
LOS RINCON	SILOS	PM	-72.7127778	2650	37010080	1987-2017
PRESIDENTE	CHITAGÁ	PM	-72.6808333	3320	37010040	1973-2017
CACOTA	CACOTA	PM	-72.6436111	2645	37010030	1958-2017

Nota: (PM) Pluviométrica

Fuente: IDEAM, elaborada por Villamizar R (2017).

Imagen 3. Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas



Fuente: IDEAM, (2017).

Una vez identificadas las estaciones, Vargas y Díaz, (1998) establecen la siguiente metodología: determinar los parámetros pluviométricos históricos tales como: precipitación total, precipitación máxima en 24 horas. Después, se llevó a cabo la determinación de los períodos de registro homogéneos para cada parámetro Hidroclimatológico. Luego, se complementan los datos faltantes a nivel mensual de cada parámetro, siguiendo los criterios de la OMM (1994) y la metodología planteada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, (IDEAM, 2011). Se construyen los histogramas de cada parámetro a nivel mensual multianual y para el período de registro definido con antelación de acuerdo a su influencia espacial en la cuenca. Finalmente, se realizan las curvas IDF representativas de la cuenca, para su posterior análisis, teniendo en cuenta lo planteado por (Castañeda (2014) conseguidas las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia, se obtendrán los Hietogramas de lluvia organizados.

Seguidamente, se procede a la elaboración y análisis de las curvas IDF, a partir de los datos suministrados por el IDEAM, para ello se tomaron los datos de precipitación máxima mensuales en 24 horas de la estación Chitagá, Presidente, Los Rincón y Cacota, esta información fue suministrada por el IDEAM para la serie de datos de (1958 - 2017), donde se identificó que las estaciones poseen datos faltantes, e infieren en un margen de error, para minimizarlos se da inicio a calcular los valores faltantes, Seguidamente se grafica el coeficiente pluviométrico con la serie de datos de la estación , correspondiente a lo planteado por Témez (1978), el cual relaciona las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno, con el propósito de graficar la relación entre las tres variables (Intensidad- Duración –Frecuencia), Es importante mencionar, que para la elaboración de las curvas IDF, se utilizó las bandas pluviográficas con la información anual completa, del período comprendido entre 1958 – 2017 y así mismo, cada altura máxima de precipitación horaria se divide por su duración en horas, obteniéndose las intensidades de precipitación máximas anuales en mm/hr para cada duración, obteniendo en función de distribución de probabilidad de Gumbel, el esquema de la curva IDF, para los periodos de retorno estimados por el autor.

En segundo lugar, se da inicio, a la elaboración de los Hietogramas de lluvia, teniendo en cuenta que Sivapalan, (2002) sugiere que la no linealidad dinámica de una cuenca depende de la entrada de lluvia al modelo se busca calcular el Hietograma promedio de tal manera que la lluvia sea lo más representativa posible de lo que ocurrió realmente durante el evento, para ello se utilizo el método del bloque alterno Chow (1994). Dicho método produce un Hietograma que especifica la profundidad de precipitación que ocurre en los (n) intervalos definidos de duración (Δt) y una duración total de diseño ($T_d = n * \Delta t$) .Además se debe tener en cuenta la longitud del cauce principal, el tiempo de duración de la tormenta, para obtener la precipitación en 24 horas, y luego de seleccionar el periodo de retorno deseado para el cual se quiere diseñar, la intensidad es leída en las IDF para cada una de las duraciones Δt , $2 \Delta t$, $3 \Delta t$,..., y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el Hietograma de diseño.

En tercer lugar, se da paso a la obtención de los hidrogramas, teniendo como información base, lo citado anteriormente. es importante, graficar el punto de levantamiento, el cual nos muestra el agua proveniente de la tormenta, se presenta durante o incluso algún tiempo después que cesó de llover, de la misma forma el punto más alto producido por la tormenta, el tiempo que transcurre desde el tiempo de levantamiento hasta el pico del hidrograma, el tiempo que dura el escurrimiento directo desde el punto base hasta el final del escurrimiento directo y el tiempo base puede abarcar desde unos minutos hasta varias horas, todo esto para conocer el comportamiento de una tormenta en la microcuenca La Viuda y el gasto en determinado tiempo.

A continuación, se hará una descripción breve del procedimiento a seguir, teniendo en cuenta los conceptos básicos teóricos de hidrometría, nivel de agua y caudal, estaciones hidrométricas, procedimientos de instalación y de medición y las funciones que deben cumplir el Observador hidrológico, establecidos por el Glosario Hidrológico Internacional de la UNESCO/OMM (1994).

❖ Nivel del agua

Se establecieron los puntos de muestreo de niveles del agua en el cauce, instalando ocho (8) miras limnimétricas (Imagen 4), así mismo se registraron los datos en la Planilla diseñada para la lectura de mira y caudales (Anexo 1) incluyendo las observaciones o evento extraordinario sucedido (desbordes, deslizamientos entre otros), tres veces al día, con las características establecidas por Reglamento Técnico sobre Hidrología OMM-N°49- Volumen III: Hidrología, Guía de Prácticas Hidrológicas – OMM – 168.

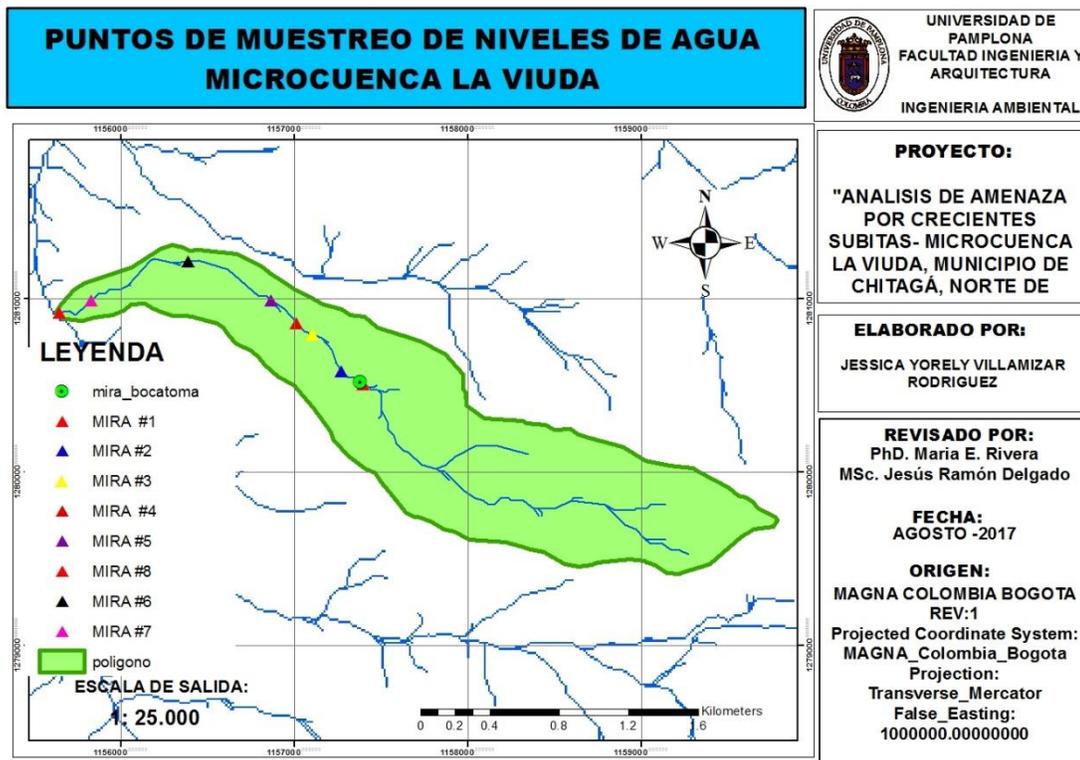
- ✓ Deben ser resistentes a la corrosión y de fácil mantenimiento (Fotografía 2)
- ✓ Deben ser fáciles de instalar y utilizar. MM-N° 49.
- ✓ Las graduaciones deberán ser claras y permanentes.
- ✓ Los números deberán ser claramente legibles y estar situadas de tal manera que no haya ninguna posibilidad de ambigüedad.
- ✓ Se entierra una parte de la escala en el lecho del río, haciendo coincidir el punto cero con el nivel del suelo.
- ✓ Los números en las escalas deben siempre estar bien pintados para poder hacer una buena lectura.
- ✓ se debe revisar después de una inundación que todas las escalas estén en su lugar.

Fotografía 2. Miras o reglas limnimétricas en la zona de estudio



Fuente: Villamizar R, (2017).

Imagen 4. Ubicación de los puntos de muestreo (8) en la microcuenca La Viuda



Fuente: Villamizar R, (2017).

- ❖ Caudal. Para la toma de datos de caudal se tuvo en cuenta los criterios de Joya (1998), los cuales son:
 - ✓ Antes de iniciar las mediciones, se realizará la limpieza en el área circundante en la microcuenca La Viuda, Se verificará el cero del limnómetro, el mismo que debe perdurar todo el periodo de registro.
 - ✓ tramo del cauce sin irregularidades ni obstrucciones, ni bloques de piedra o vegetación, de perfil longitudinal sin escalones
 - ✓ tramo del cauce con pendiente uniforme y reducida, de flujo uniforme sin remolinos
 - ✓ estabilidad del lecho de la corriente, tanto en perfil longitudinal como en perfil transversal
 - ✓ De fácil acceso
 - ✓ El tramo a escoger deberá tener en lo posible en un tramo recto unos 100 metros aguas arriba y debajo de la estación de aforo, esto dependerá de las características topográficas del lugar.
 - ✓ Las orillas deben ser permanentes, lo suficientemente altas para contener las crecidas y deben estar libres de arbustos.

Una vez seleccionado los puntos se llevarán a cabo el aforo, se procedió a utilizar el método volumétrico, además para mayor precisión, se decide aforar con Trazador “azul de metileno”

- ✓ El empleo de colorantes para medir la velocidad del flujo en corrientes de agua es uno de los métodos más sencillos y de mayor éxito. Una vez elegida la sección de aforo, en la que

el flujo es prácticamente constante y uniforme se agrega el colorante en el extremo de aguas arriba y se mide el tiempo de llegada al extremo de aguas abajo. Conocida la distancia entre los dos extremos de control, se puede dividir esta por el tiempo de viaje del colorante, obteniéndose así la velocidad superficial o subsuperficial de la corriente líquida. La velocidad media de flujo se obtendrá dividiendo la distancia entre los dos extremos o puntos de control, por el tiempo medio de viaje.

7.3 LEVANTAMIENTO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES EN EL CAUCE PRINCIPAL DE LA QUEBRADA LA VIUDA.

Para el desarrollo de la modelación hidráulica e hidrológica y geométrica a la hora de realizar un análisis de crecidas en la zona de estudio, vale la pena destacar las condiciones topográficas y geomorfológicas del terreno, ejecutando un levantamiento de secciones transversales del cauce principal (Fotografía 3), utilizando las siguientes herramientas: GPS (Garmel modelo GPSmap 62sc) y Cinta métrica, una vez listo las herramientas y disponibilidad del personal se procede a realizar el levantamiento de las secciones, que tiene como objetivo medir distancias y profundidades en función del (ancho) del cauce, así mismo se deben ir indicando los bancos del cauce (derecho-izquierdo), y las planicies de inundación si las hay.

Para el respectivo análisis de crecientes de la quebrada La Viuda, se levantaron secciones transversales cada 5 m, para un total de 459 secciones en campo.

Fotografía 3. Levantamiento de las secciones transversales de la quebrada La viuda.



Fuente: Villamizar R, (2017).

➤ TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

La selección de los puntos de muestreo de sedimentos en la microcuenca La Viuda, se generaron mediante la visita de campo e identificación de la misma, observando en forma general los depósitos de sedimentos, la forma y las estructuras hidráulicas en el cauce, tomando como consideraciones importantes el fácil acceso y recolección de los sedimentos colmatados o depositados en el margen (derecha o izquierda) del cauce, como lo indica las flechas rojas, (Fotografía 4). Para el cauce en estudio se optó por utilizar 8 puntos de muestreo de sedimento, teniendo en cuenta el origen del material, debido a que éste puede proceder del propio lecho del cauce o proceder del lavado de las laderas, no obstante, se debe aclarar que el material influye en el transporte de sedimentos, por lo cual se consideran dos características

importantes: el peso específico y la granulometría, a la hora de evaluar un evento como es el caso de las crecientes súbitas.

Fotografía 4. Sedimentos presentes en el cauce (margen derecho)



Fuente: Villamizar R, (2017).

✓ Granulometría

Para ello, se inició con la toma de cada una de las muestras de sedimento en campo en donde se realizó el proceso de cuarteo, tomando solo $\frac{1}{4}$ de la muestra y pesada in situ (Fotografía 5), seguidamente se depositaron de manera separada en una bolsa plástica, debidamente rotulada, se almacenaron con cuidado para su posterior transporte al lugar dispuesto para su secado (Fotografía 6); una vez secadas las muestras fueron llevadas al laboratorio de Suelos de la Universidad de Pamplona donde se pesaron nuevamente y se inició el análisis granulométrico a través del método de tamizado, el cual consiste en primer lugar en pesar el recipiente vacío, preferiblemente en una balanza digital, seguidamente se deposita la muestra en el recipiente, igualmente se procede a realizar el mismo proceso para el resto de los recipientes y muestras, en este caso se usaron los tamices número 4, 16, 40, 80, 100, 140, 200 más el fondo (recipiente donde se deposita una porción de la muestra), consecutivamente se acoplan todos los tamices una encima de forma que el número menor quede de primero y el número mayor de último, posteriormente se procede a colocar la muestra dentro del tamiz 4 y cubriéndola de manera que no haya una pérdida o salida de la muestra del recipiente, subsiguientemente se hace pasar las partículas con sacudidas horizontales y golpes en sentido vertical (Fotografía 7). Finalmente, se calcula el porcentaje retenido y porcentaje que pasa para obtener la curva granulométrica y por ende la clasificación de las partículas en función de sus diámetros.

Fotografía 5. Cuarteo y peso de la muestra de sedimentos en campo.



Fuente: Villamizar R, (2017).

Fotografía 6. Secado de las muestras de sedimento.



Fuente: Villamizar R, (2017)

Fotografía 7. Serie de tamices / sedimentos tamizados.



Fuente: Villamizar R, (2017).

➤ MODELACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

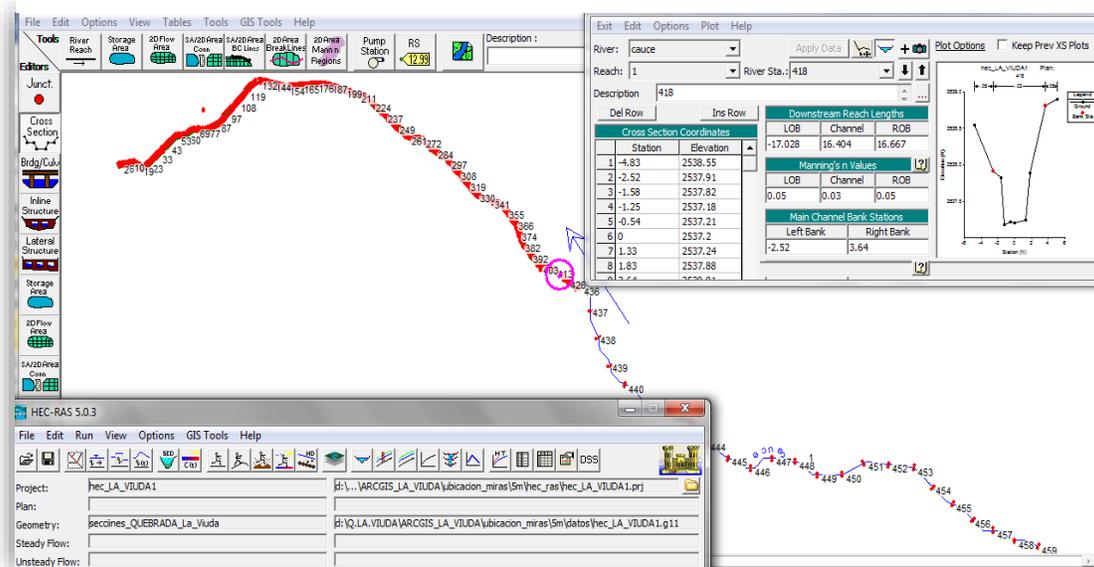
Con la información previamente obtenida se realizó la modelación de las secciones transversales correspondientes al cauce en estudio, a través del programa Hec-Ras 5.0, junto con la información adicional de las condiciones y características de flujo.

Las principales características de la zona de estudio provienen de la información proporcionada por el DEM (Modelo De Elevación Digital) de la zona de estudio, se inicia con la obtención de las curvas de nivel, junto con la delimitación de la cuenca en ArcGis 10.2.2 en coordenadas MAGNA Colombia Bogotá. Por otra parte, a partir de las curvas de nivel se genera el TIN (Triangulated Irregular Network) de la zona de estudio, siendo este el inicio del trabajo con la herramienta Hec- GeoRas en ArcGis y sus extensiones fundamentales que son:

Con RAS Geometry se diseñó y trazó la geometría principal del cauce, luego se dibujó el cauce principal utilizando la herramienta (start editing), después ir a create features y seleccionar la capar river y presionar seguidamente línea, así se trazó el cauce principal del rio. Una vez digitalizado se identifica el tramo mediante assign river code and reachcode to river. Inmediatamente se procedió a la creación de los márgenes del rio con la herramienta (bank lines) y se creó la capa (flowpath). Posteriormente, se identificaron flowpaths, el izquierdo, el central y el derecho, para así crear sus cortes con la herramienta Banks links y los XS Cut Lines; una vez creada la geometría se procedió a ingresar los datos tomados en campo e importarlos al Hec_Ras desde el trabajo efectuado en ArcGis, puesto que la precisión del modelo da lugar a la trayectoria del cauce modelado y a su vez realizar las interpolaciones necesarias las cuales permiten definir la geometría que presenta el cauce en estudio.

Después, se da una descripción breve de la sección, como la localización mediante sistema de coordenadas (Station, Elevation), distancias a la que se encuentran cada de uno de los bancos del cauce (Imagen 5), al mismo tiempo se procede a incluir los valores de Manning para cada sección (Tabla 4), siendo estos identificados con las observaciones previamente tomadas en campo, además se requiere del coeficiente de expansión o contracción que puede ser tomado por a criterio del usuario según la tabla del Hec-Ras (Tabla 5).gr

Imagen 5. Modelación y simulación de las secciones trasversales, levantadas en el cauce principal de la quebrada la viuda.



Fuente: Villamizar R, (2017).

Tabla 4. Coeficientes de Manning utilizados en la modelación de la Quebrada La Viuda

TIPO DE CANAL Y DESCRIPCIÓN	COEFICIENTE DE MANNING
EN EL CAUCE	
1. fondo: grava, canto rodado y algunas rocas	0.030
2. fondo: cantos rodados con algunas rocas	0.040
MÁRGENES DEL CURSOS NATURALES	
1. pastos cortos, sin arbustos	0.025
2. pastos altos, sin arbustos	0.030
3. áreas sin cultivo	0.020
4. áreas con cultivos maduros	0.030
5. arbustos escasos, con muchos pastos	0.035
6. arbustos pequeños y arboles	0.040
7. arbustos medianos a densos	0.045
8. sauces densos y rectos	0.110
9. arboles cayendo continuamente en el rio, debido a la erosión de las márgenes	0.150
10. vegetación abundante y arboles altos	0.011
11. terreno rocoso de montaña	0.050
12. presencia de musgos, algunos pastos	0.025
13. pocos arbustos en los bancos	0.035
14. arbustos en los lados	0.040
15. arbustos densos y nivel alto	0.050
MÁRGENES DE CANAL REVESTIDO O FABRICADO	
1. concreto liso en el cauce	0.013
2. concreto ciclópeo con piedra partida y acomodada	0.015
3. ladrillo y cemento	0.012

Fuente: Chow (1994), Elaborado por Villamizar R, (2017)

Tabla 5. Coeficientes de contracción y expansión (Hec-Ras)

Parámetro	Contracción	Expansión
Sin pérdidas por transición	0.0	0.0
Transiciones graduales	0.1	0.3
Secciones típicas de puentes	0.3	0.5
Transiciones abruptas	0.6	0.8

Fuente: Hec-Ras 5.0 (2016)

Seguidamente, con la extensión Hec-GeoRas se generaron los resultados finales en donde se visualiza la mancha de agua, las superficies de inundación como resultado de las posibles

crecientes o avenidas torrenciales, para cada periodo de retorno establecido, los niveles de agua, gris de profundidad, etc., y se representó en el DEM siendo posible determinar y calcular los límites de las áreas de inundación.

7.4 IDENTIFICAR LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS CRECIENTES SÚBITAS DE LA MICROCUENCA LA VIUDA

Se inicia un reconocimiento de la zona a partir de cartografía base y modelo digital de terreno (DEM), para generar mapas digitales temáticos de las principales variables como la geología, geomorfología, cobertura vegetal, precipitaciones, secciones transversales y las pendientes del terreno, factores considerados como determinantes en una creciente súbita. La metodología aplicada fue expuesta por Cardona, A. & Omar, D (1993), con ayuda de la metodología expuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015), luego se determinaron los niveles de riesgo para las variables planteadas, se ponderaron las variables de acuerdo con la influencia sobre los fenómenos, seguidamente se interpretan como la recurrencia de los eventos en el tiempo en un entorno SIG, y luego se verifica en campo los resultados obtenidos en la zona estudiada.

➤ PENDIENTES

El estudio de la pendiente se basa en el cálculo del gradiente de pendiente para las distintas áreas de Estudio, las pendientes se agruparán en clases diversas, de forma que el terreno que pertenece a una determinada clase se comporte homogéneamente ante la actividad analizada a partir de los modelos digitales del terreno (MDT) o de un mapa topográfico. No obstante, hay decisiones que se deben tomar previamente, siendo una de las más importantes las clases de pendientes a utilizar (Tabla 6), y el espesor de la capa de suelo residual.

Tabla 6. Categorías de trabajo de las pendientes utilizadas en el proceso de zonificación.

TIPO DE PENDIENTE	RANGO	CATEGORIA	COLOR
Plana a suavemente inclinada	0° - 7°	1	Verde oscuro
Inclinada	7° - 11°	2	Verde claro
Muy Inclinada	11° - 19°	3	Amarillo
Abrupta	19° - 40°	4	Naranja
Escarpada	>40°	5	Rojo

Fuente: INGEOMINAS (2011).

➤ PRECIPITACION

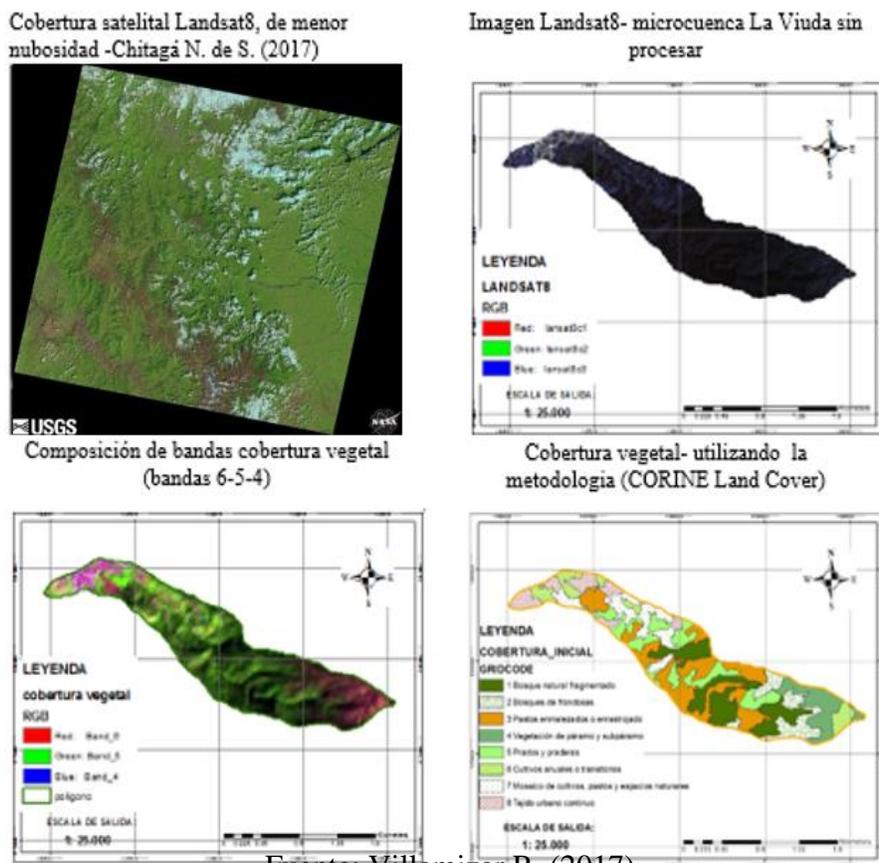
La información sobre la precipitación proviene de las curvas IDF, registradas de las Estaciones Pluviométricas de Chitagá, Cacota, Los Rincón, Presidente, cuya serie de datos comprenden un periodo de 59 años de 1958 a 2017, donde la se realiza una interpolación con objetos que estén correlacionados entre sí; es decir, las cosas que están cerca tienden a tener características similares; como las curvas IDF de las estaciones cercanas; Es por eso que se toma la decisión de realizar una interpolación entre los datos de las estaciones anteriormente mencionados, pues estos tienen más

posibilidades de ser similares que los que se encuentran más alejados, seguidamente se cruzó la información pluviométrica con parámetros como el coeficiente de compacidad (1.759), densidad de drenaje (2.668km^{-1}), pendiente media de la cuenca (25.86%), determinando el agua disponible en la superficie de la microcuenca (precipitación).

➤ COBERTURA VEGETAL

Para el levantamiento actualizado de la cobertura vegetal a nivel de cuenca hidrográfica se basó en la metodología propuesta por Arenas T. J (2004) que se fundamenta en procesos de segmentación y clasificación por regiones, Incluye la selección y adquisición de imágenes satélites, siendo las imágenes Landsat 8, la base a partir de la cual se realizó la interpretación, además se consideró como requisito la presencia de una cobertura de nubes mínima y actualizada. Una vez seleccionadas las imágenes de menor nubosidad para el año 2017, se revisaron sus diferentes bandas espectrales, y otros procesamientos digitales que permiten mejorar la imagen con el fin de facilitar su interpretación, y verificación de las coberturas presentes en la zona de estudio, seguidamente se procede a la edición vectorial por interpretación visual y estructuración del mapa de cobertura, (Imagen 6).

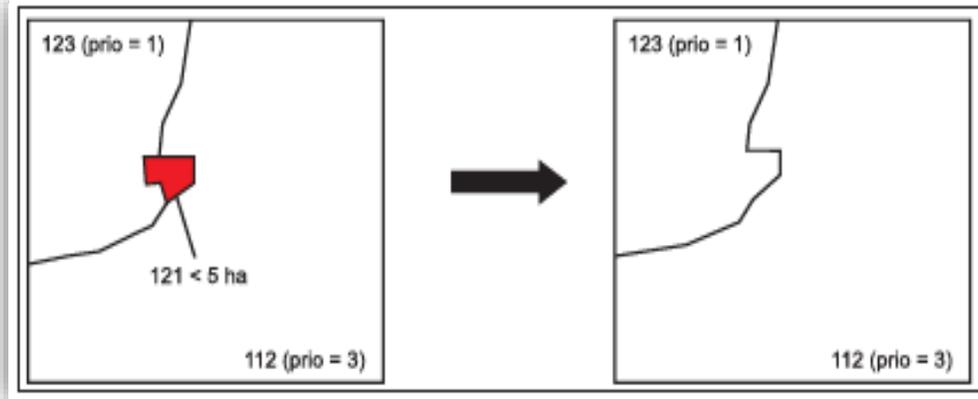
imagen 6. Esquema metodológico del procesamiento de imágenes satelitales para el análisis de cobertura vegetal



Fuente: Villamizar R, (2017).

Una vez desarrollada la fotointerpretación de la información validada, obteniendo como producto la definición de las diferentes, clases, unidades y tipos de cobertura existentes en la microcuenca, se hace necesario corregir las imágenes, despreciando las unidades que presentan una superficie menor a 0.5 ha o ser agregada a la unidad vecina (Figura 1), para una mejor interpretación

Figura 1. Situación de generalización de un polígono (<0.5 ha) ubicado entre dos polígonos



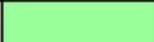
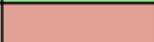
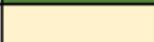
Fuente: CORINE (2005).

Cabe mencionar que la aplicación de la metodología CORINE Land Cover, en muchas ocasiones fue necesario tener el apoyo de otro tipo de información para poder comparar, complementar y/o validar la información de las imágenes de referencia. Esta información complementaria comprendió principalmente las siguientes fuentes principalmente:

- Imágenes satelitales
- Cartografía básica y/o topográfica.
- Mapas temáticos de cobertura del territorio.
- Información actual de diferentes tipos de uso y ocupación del Territorio y coberturas.

Seguidamente, se procedió a realizar la clasificación no supervisada, la cual permite complementar el conocimiento previo sobre las posibles coberturas, una vez validada la información, se procede a verificar las diferentes unidades de cobertura interpretadas con el trabajo en campo (Tabla 7), para de esta manera lograr su ubicación con GPS (Garmel modelo GPSmap 62sc) y fotografías y si existen modificaciones en algunas unidades se procede a crear un nuevo mapa de cobertura para la zona en estudio.

Tabla 7. Codificación de las unidades de coberturas de la tierra (utilizadas en la microcuenca La Viuda)

Codificación de coberturas de la tierra (CORINE Land Cover) adaptada para Colombia		
CODIGO	DESCRIPCIÓN	COLOR
111	Tejido urbano continuo	
311	Bosques de frondosas	
312	Bosque natural fragmentado	
322	Bosques de arbustos, matorrales y coníferas	
324	Vegetación de páramo y subpáramo	
233	Pastos enmalezados o en rastrojados	
311	Cultivos anuales o transitorios	
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	
231	Prados y praderas	

Fuente: IDEAM, (2005), elaborado por Villamizar R (2017).

➤ GEOLOGIA

Para la descripción de la geología del municipio de Chitagá (Norte de Santander), se consultó la información bibliográfica disponible en el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (Ingeominas). La realización del mapa geológico del área del municipio, requirió de la plancha H-13 (imagen 3), Pamplona Ward et al. (1977); publicados por el Ingeominas, luego se procede a reconocer los parámetros de la zona siendo las unidades de roca que se han cartografiado de manera regional en la zona. Esto brinda información para lograr identificar los tipos de rocas que podemos encontrar (Unidades litológicas), estructuras (Fallas).

7.5 GENERAR MAPA DE AMENAZA POR CRECIENTES SÚBITAS.

La elaboración del mapa de amenaza por crecientes súbitas, se debe contar con la información anteriormente descrita como las características del área en estudio, procesamiento de la información existente con el uso SIG, realización de salidas de campo, modelamiento con el HEC-RAS y HEC Geo-RAS en donde el modelo se fundamenta en la utilización de un SIG que integra procesos de simulación hídrica a través del uso del Hec-RAS y Hec GeoRAS, que en su versión 5.0.3, con los cuales se determinó el área que posiblemente se afectaría por las avenidas torrenciales, si las condiciones hidrológicas de la microcuenca son modificadas de acuerdo a las tendencias registradas en el tiempo (Ellis, Romero, Hernández, Gallo, Y Alanís, 2012). En el procesamiento de la información se consideran los periodos de retorno de (2, 5, 10, 50, 100 y 500 años).

El software libre Hec-GeoRAS, facilita la creación de escenarios de simulación hídrica de la microcuenca, a través del análisis de la información ingresada, que en este caso hace referencia a datos morfométricos de la cuenca (dirección de la corriente, caudal, elevación) y los segmentos y cortes transversales previamente dibujados en ArcGis con ayuda del Hec- GeoRAS, y editadas según la información levantada en campo, para un total de 459 secciones para la microcuenca La Viuda. Para identificar esta información previa, se aplicaron métodos determinísticos (directos) donde se incorporaron variables como (precipitación, pendientes y cobertura del suelo), con el fin de determinar las características particulares del comportamiento hídrico de la microcuenca.

seguidamente se procede a categorizar la amenaza de las áreas afectadas por las crecientes, para ellos se da inicio con el proceso de modelamiento para los tiempos de retorno de 100 y 500 años. Para la realización de este proyecto se tomó como referencia la metodología MADS (2013) para el proceso de delimitación de amenazas en la formulación de planes de ordenación de cuencas hidrográficas, con algunas modificaciones. Esta metodología plantea dos variables de valorización para categorizar la amenaza, siendo el primero los periodos de retorno (frecuencia) y segundo la afectación del evento(magnitud) sobre los elementos expuestos como personas, viviendas, vías, puentes, cultivos entre otro. Para ello los caudales se clasifican en alta, media y baja, según los valores asignados (Tabla 8).

Tabla 8. Valoración y categorización de las variables

VARIABLE	RANGO	VALOR	CATEGORIA
FRECUENCIA DEL EVENTO	CADA AÑO (TR 100 AÑOS)	3	ALTA
	ENTRE 3-5 VECES (TR 100 AÑOS)	2	MEDIA
	DE 1 A 3 VECES (TR 100 AÑOS)	1	BAJA
MAGNITUD DEL EVENTO	AFECTACION DE VIDAS, VIVIENDAS Y	3	ALTA
	AFECTACION DE VIVIENDAS, Y CULTIVO	2	MEDIA
	SIN AFECCIÓN	1	BAJA

Fuente: MADS (2013).

El evento 1 representa los eventos con menor frecuencia y magnitud, obteniendo una calificación cualitativa de baja, las áreas que presenten una frecuencia y magnitud intermedia, con relación a los dos rangos definidos tendrán un valor de 2 que corresponde categoría de amenaza media, el valor 3 corresponde a las áreas que presentaron mayor recurrencia tanto en frecuencia como en magnitud de los eventos, de igual manera los valores y categorías de cada variable se evalúan a continuación (Tabla 9)

Tabla 9. matriz de evaluación de categorías de la amenaza

		Frecuencia		
		Alta	Media	Baja
Magnitud	Alta	Alta	Alta	Media
	Media	Alta	Media	Media
	Baja	Media	Baja	Baja

Fuente: MADS (2013).

7.6 SEÑALAR Y PLANTEAR ALGUNAS RECOMENDACIONES QUE PUEDAN CONTRIBUIR A LA TOMA DE DECISIONES POR PARTE DE LAS ENTIDADES COMPETENTES

Por la falta de estudios en las microcuencas del municipio de Chitagá Norte De Santander, sumado a esto los inconvenientes presentados durante la ejecución del presente proyecto y pensando en las comunidades que se verán directamente implicadas, se señalan algunas recomendaciones, para el beneficio de la comunidad.

- Dar continuidad al estudio de los factores determinantes de las crecientes súbitas de manera más detallada con equipos de precisión, y un monitoreo constante para dar seguimiento de manera más veraz, y así identificar correctamente la categoría de la amenaza, ya que se podría estar desconociendo los periodos donde se presentan tiempos con precipitaciones elevadas que no fueron evaluados en este estudio.
- A la alcaldía del municipio como primera autoridad, tomar medidas de forma inmediata, frente a la amenaza por crecientes súbitas, que presenta las comunidades que habitan en la ronda hídrica de la microcuenca y zonas aledañas, ya que es evidente que las actividades antrópicas son una problemática, que en muchas ocasiones incrementa los efectos de los desastres naturales.
- A la autoridad regional para la protección y cuidado del medio ambiente COORPONOR (corporación autónoma y regional de la frontera nororiental), verificar de manera más rigurosa que se dé cumplimiento a las leyes estratégicas para la preservación y conservación de las cuencas del municipio.
- Fortalecer los sistemas organizativos y administrativos de gestión de riesgos adecuándolos a la realidad de los desastres que hoy en día se están presentando. Así mismo hacer una invitación a la comunidad de Chitagá para que se organicen y adopten un enfoque preventivo, exclusivamente de atención de emergencias.
- Evitar la erosión excesiva del uso del suelo por parte de la población aledaña, dedicada a las actividades agronómicas, cercana a la ronda hídrica evitando el uso indiscriminado de los recursos presentados en la zona limítrofe de la quebrada.
- Dar seguimiento por parte de los entes encargados a los deslizamientos presentados en los terrenos cercanos de la ronda hídrica, y buscar mecanismos que pueden ser determinantes para la prevención de unos posibles represamientos.
- Evaluar los puntos del cauce, que puedan verse afectados por taponamientos a causa de los desechos que son arrojadas de forma indiscriminada al canal, disminuyendo el área por la cual circula el agua y en consecuencia aumentando el área superficial inundable. Realizando campañas de limpieza programadas y ejecutadas de manera periódica.

7.7 SOCIALIZACION DEL PROYECTO

En primera instancia se decidió comunicarle, a los representantes de las áreas involucradas el proyecto que se estaba realizando en la microcuenca La Viuda del municipio, para así mismo contar con el permiso de sus predios, y aval de la administración municipal para lograr desarrollar el trabajo y lograr despertar el interés y el apoyo de los mismos por el proyecto.

Seguidamente, se recibió una invitación por parte de la institución educativa Alonso Carbajal Peralta (Anexo 2) a la semana cultural del municipio, para dar a conocer el proyecto que se venía realizando, y finalmente se socializo ante la comunidad directamente implicada los resultados y conclusiones que se derivaron de la investigación.

8. RESULTADOS Y DISCUSION

Continuando con los pasos ya descritos utilizados para el desarrollo del Análisis de amenaza por crecientes súbitas de la microcuenca La Viuda, municipio de Chitagá, Norte De Santander. Se obtuvieron los siguientes resultados, además se incluyen las tablas y figuras de la microcuenca en estudio:

8.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMETRÍCAS DE LA MICROCUENCA L A VIUDA

La caracterización morfométricas y funcionales de la microcuenca La Viuda, es determinante para un análisis de amenaza por crecientes súbitas, porque los resultados constituyen un elemento fundamental en la definición de zonas susceptibles a tal evento a lo largo del cauce. La mayoría de los parámetros morfométricos representan índices adimensionales que permiten comparar las diferentes características de una cuenca, en especial cuando no se cuenta con suficiente información primaria que permita establecer cálculos directos en variables que intervienen

La microcuenca La Viuda, posee de unas características morfométricas (Tabla 10) y a su vez los parámetros que caracterizan su forma. En la zona se destaca que las laderas aferentes al cauce y los alrededores del municipio están condicionadas por pendientes de relieve que va desde altas a muy altas.

Tabla 10: Características morfométricas de la Microcuenca La Viuda.

PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA MICROCUENCA LA VIUDA		
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	VALOR
DE LA SUPERFICIE		
Área cuenca total	Km ²	2.385
Perímetro de la cuenca total	Km ²	9.704
Cotas		
Cota máxima	msnm	3665
Cota mínima	msnm	2284
Cota máxima del cauce principal	msnm	3537
CENTROIDE (PCS: MAGNA Colombia Bogotá)		
X Centroide	Km	1157.779
Y Centroide	Km	1280.313
Z Centroide	msnm	2985.578
ALTITUD		
Altitud media	msnm	2999.7
Altitud más frecuente	msnm	2833
Altitud de frecuencia media	msnm	3000.112
PENDIENTE		
Pendiente promedio de la cuenca	%	25.86
Pendiente promedio de la red hídrica	%	10.85
DE LA RED HÍDRICA		
Longitud del curso principal	Km	5.337
Orden de la red hídrica	UND	2
Longitud de La red hídrica	km	6.365
Ancho máximo de la cuenca	km	1.086
Factor forma o coeficiente forma	A dimension	0.058
Índice de alargamiento	A dimension	3.988
Densidad de drenaje	Km/km ²	2.668
Numero de escurrimientos	UND	14
longitud máxima de la cuenca	km	4.331
Índice de compacidad	A dimension	1.759
Tiempo de concentración	minutos	15,32
Pendiente del cauce	A dimension	258.76

Fuente: Villamizar R, (2017).

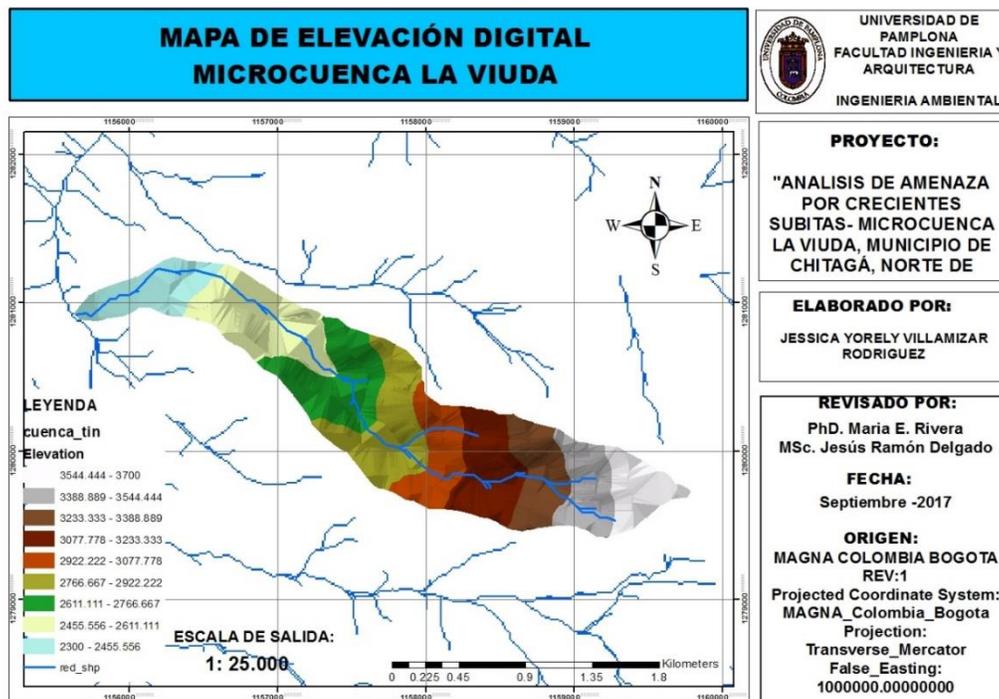
Como se mencionaron anteriormente, los parámetros morfométricos de la microcuenca La Viuda, cuenta con un área estimada de 2,385 Km², parte a una altura de 3665 m.s.n.m; Cabe mencionar que el cauce principal nace a los 3537 m.s.n.m, y discurre a lo largo de su trayectoria en sentido nororiente-sureste, desde su nacimiento que parte del páramo de las Sardinas del municipio de Chitagá hasta la desembocadura en la margen derecha del río Chitagá a una altura de 2284m.s.n.m, al mismo tiempo se caracteriza por tener una red de drenajes de tipo dendrítico presentando una

ramificación arbóreo, en la que los tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos, este tipo de drenajes son propios de suelos homogéneos presentes principalmente en áreas de rocas sedimentarias, metamórficas y depósitos glaciales. siendo esta red de drenajes, constituida como un sistema de drenajes de segundo orden, en el que la longitud del cauce principal alcanza aproximadamente 5.337 Km, (Imagen 7) además, indica que existe alto grado de escurrimiento y poca retención de agua, y un grado estructural medio generando mayor energía y por ende mayor erosión, su perímetro corresponde a 9,707 Km², Por otra parte, según el índice de alargamiento es muy alargada donde el tiempo de viaje del agua es mucho más largo, contribuyendo a que los picos de crecidas sean menos súbitos en casos de lluvias concentradas o tormentas.

Con respecto al coeficiente de compacidad o índice de Gravelius se determina que su forma es de oval oblonga a rectangular oblonga, es decir, tienen la capacidad de dispersar el escurrimiento de las lluvias intensas, su coeficiente de masividad lo proyecta un relieve muy montañoso, donde se tienen vertientes largas, además es común observar movimientos en masa que obstruyen el cauce, lo que favorece a la formación de avenidas torrenciales, cuyo destino final de las aguas es exorreica, más aun cuando presenta tormentas de alta intensidad en la parte alta de la microcuenca influyendo energía potencial del agua sobre la esorrentía directa según lo demuestra su coeficiente orográfico.

De acuerdo con lo anterior hace suponer que las avenidas provenientes de las partes altas pueden ser motivo de crecientes o inundaciones en condiciones de lluvias abundantes. Además, con los resultados de los demás parámetros morfométricos estudiados, deduce que la microcuenca La Viuda, debe estar monitoreada constantemente en la época de lluvias para evitar alguna situación de amenaza

Imagen 7. Modelo de elevación (TIN) y red de drenaje- microcuenca La Viuda



Fuente: Villamizar R, (2017).

Desde el punto de vista hidrológico (Grafico 4) y de acuerdo con López Cadenas de Llano (1998), el resultado obtenido por la curva hipsométrica es más representativo en función de que la mitad de la superficie de una cuenca está influenciada por relaciones determinadas entre las elevaciones y la temperatura. Respecto a la forma de la curva hipsométrica, se puede inferir que la microcuenca La Viuda, tiende a estar en fase de equilibrio (Harlin, 1984), bajo el supuesto de que esta función, de acuerdo con Strahler (1957), relaciona la altitud con el área que cambia a través del tiempo en la medida que la cuenca sufre los efectos de la erosión, lo cual implica que esta área no presenta gran potencial erosivo y tiende a clasificarse como una cuenca en su fase de madurez (Fuentes, 2004), de igual manera se observa dos cambios bruscos a una altura de 2950 y 3250, debido a que en este tramo se encuentra la falla de Chitagá de ahí su comportamiento en las curvas de nivel.

Gráfico 4. Curva hipsométrica zona de estudio.



Fuente: Villamizar R, (2017).

Estos resultados en conjunto con los demás parámetros de relieve permiten considerar que las características físicas y el comportamiento hidrológico de la cuenca se encuentran influenciados por la topografía del terreno, e indicando que son terrenos sensibles a crecientes.

8.2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO - CURVAS IDF, HIETOGRAMAS E HIDROGRAMAS

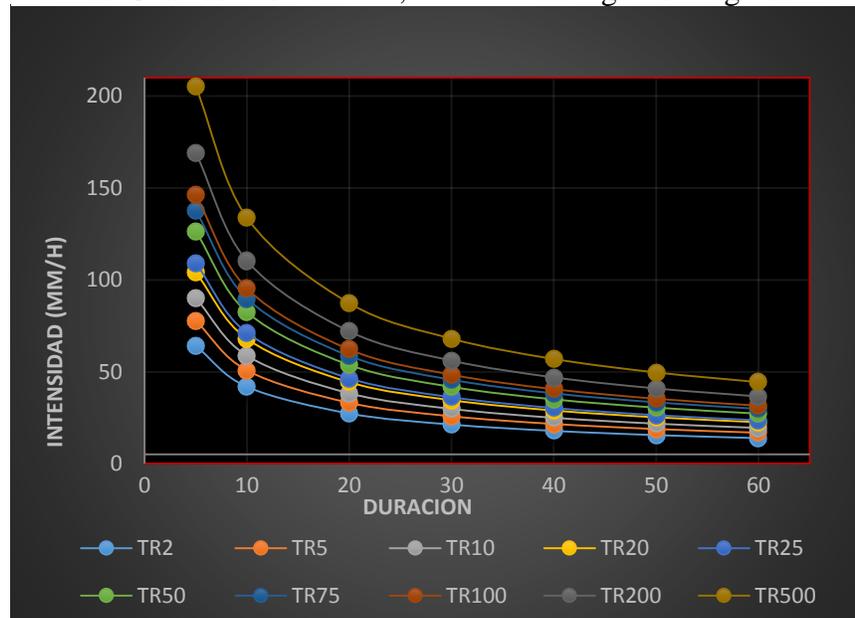
➤ CURVAS IDF

Para la obtención de las curvas IDF (Grafico 5), se debe analizar el comportamiento de las precipitaciones de cada estación pluviométrica, teniendo en cuenta en primer lugar que la serie temporal que más datos pluviométricos tiene es la estación del municipio de Chitagá, en segundo lugar, es la estación más cercana al área en estudio, presentándose a tan solo 300 metros de la microcuenca La Viuda

Al mismo tiempo para dar secuencia al proceso se obtienen las precipitaciones máximas y consecutivamente empleando regresión potencial de intensidad, duración y frecuencia, no solo se

obtiene el coeficiente de regresión cuyo valor es (0.6163), sino también los valores de k (175.9384) y m (0.2106) respectivamente para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 75, 100, 200 y 500 años. De igual manera en forma general, las curvas IDF obtenidas a partir de los datos pluviométricos de la estación Chitagá, se logra evidenciar que, para el periodo de retorno de 2 años, las intensidades van desde 64.14mm/h en 5 minutos hasta 13.86mm/h en 60 minutos (1 hora) y para un periodo de retorno de 500 años se tiene intensidades en 5 minutos de 205.28mm/h y 44.37mm/h en una hora

Gráfico 5. Curva IDF, Estación Chitagá –Chitagá



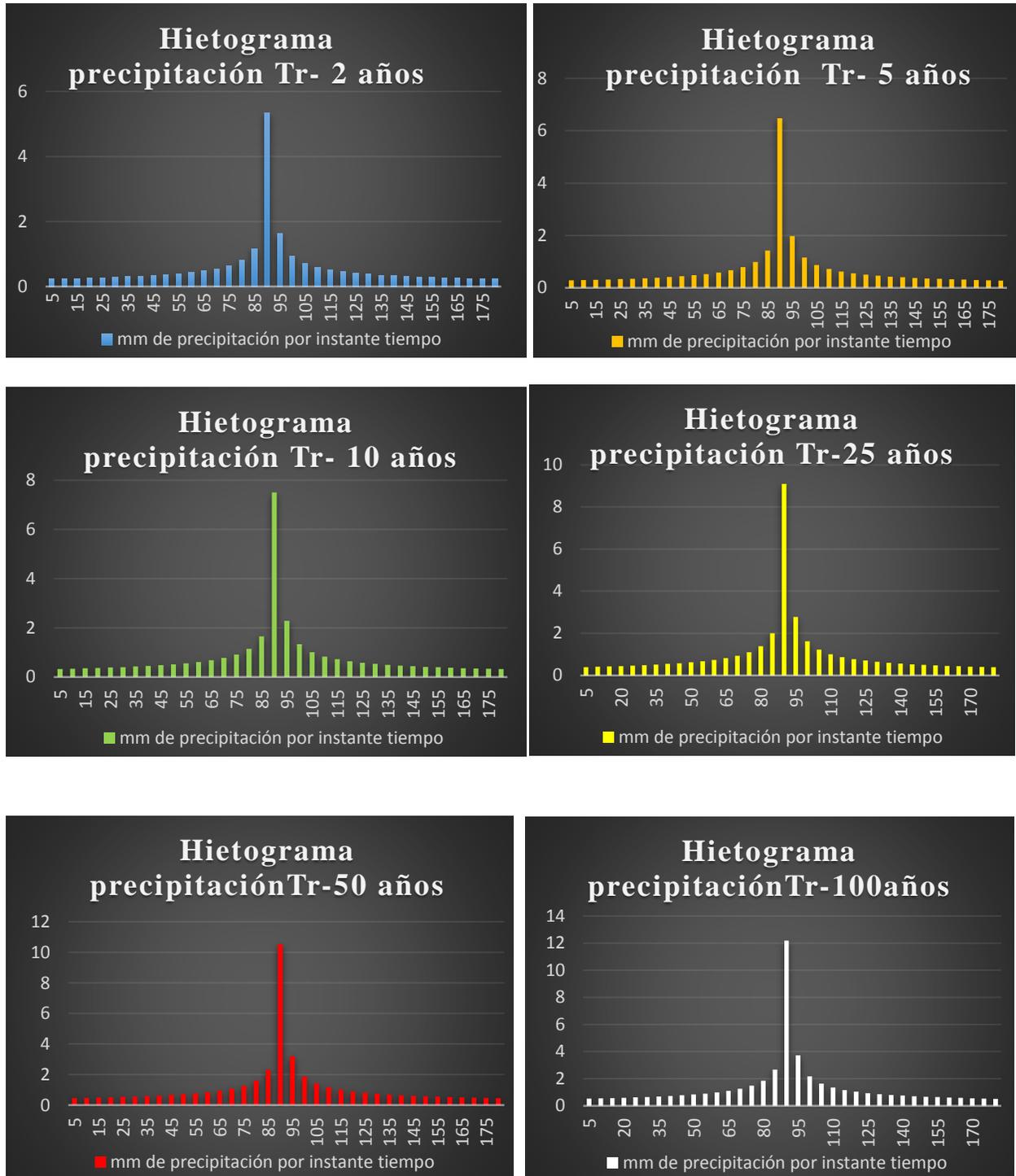
Fuente: Villamizar R, (2017).

➤ HIETOGRAMAS

En cuanto a los Hietogramas obtenidos (Gráfico 6), en función del tiempo de concentración principalmente la fórmula de Kirpich con un valor de (15.32) minutos para la microcuenca La Viuda, se pudo analizar los caudales máximos de crecidas que determinan la duración de la tormenta ocurridas en un año e identificar la lluvia correspondiente a la intensidad de las precipitaciones para duraciones entre 0 y 180 min y periodos de retorno evaluados en las curvas IDF 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

Los Hietogramas referenciados a continuación permiten observar el comportamiento de la precipitación en los periodos de retorno evaluados anteriormente, los cuales registran un aumento en el transcurso de los mismos. Hay que mencionar, además, otro resultado que se obtuvo fue la precipitación máxima alcanzada en un tiempo determinado, en el caso del presente estudio se presentó a los 90 minutos más lluviosos, al mismo tiempo se logra observar como el intervalo con más precipitación a la derecha y a su izquierda se registra el tercer intervalo más lluvioso y así de forma continua hasta alcanzar 60 minutos (1 hora) a partir de lo descrito por Chow et al 1994.

Gráfico 6. Hietogramas para los periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, y 500 años de la Microcuenca La Viuda.



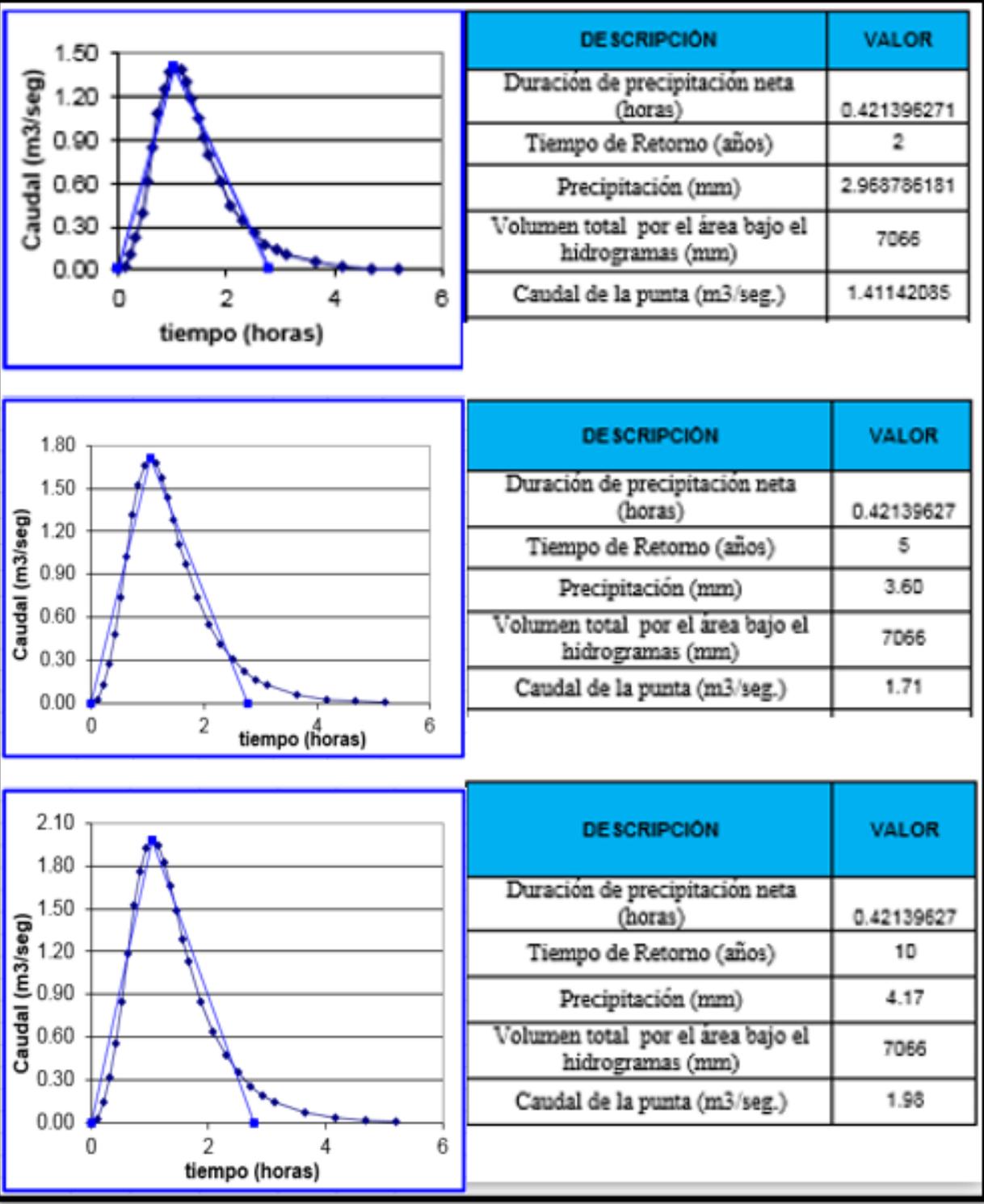


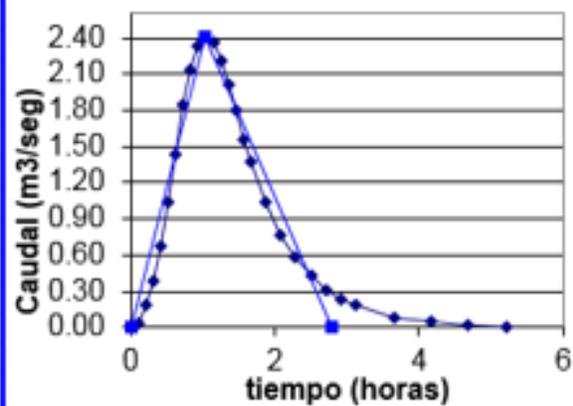
Fuente: HidrojING. Editado por: Villamizar, R. (2017)

➤ HIDROGRAMAS

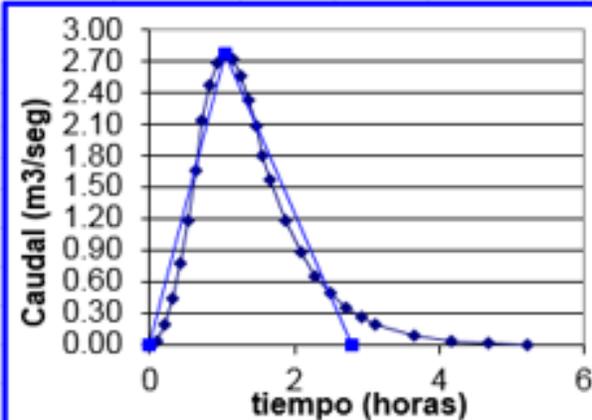
La obtención de los hidrogramas unitarios de caudales (Gráfico 7) para los diferentes periodos de retorno, muestra el caudal de punta para determinada precipitación neta. En forma general se observa un ligero aumento en los caudales para el tiempo de duración de 1.5 horas o 90 minutos donde la precipitación varía desde 2.96mm para (2 años) a 9.50mm para (500 años), teniendo caudales totales Q_t de $16.15 \text{ m}^3/\text{seg}$ para periodo de retorno de (2 años) y $51.67 \text{ m}^3/\text{seg}$ para periodo de retorno de (500 años). No obstante, es posible concluir que no siempre una precipitación con un periodo de retorno mayor al del evento, está asociada a un incremento de escorrentía de la misma magnitud, puesto que un evento de precipitación con un periodo de retorno de 500 años puede generar una creciente con un periodo de retorno mayor o menor, dependiendo de las condiciones y características morfométricas de la cuenca, además se puede ver como la curva de concentración o ascenso no es inmediata, sino que empieza a aumentar con la precipitación hasta alcanzar el caudal pico, lo que indica que la respuesta de la precipitación – escorrentía no es inmediata. Se debe agregar que la finalidad de representar o simular un hidrograma de un evento o fenómeno hidrológico de la microcuenca La Viuda, se hace exclusivamente para determinar y conocer el caudal pico que presenta y así poder modelar y simular las posibles crecientes súbitas que la microcuenca pueda presentar en un periodo de tiempo determinado.

Gráfico 7. Hidrogramas para los periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100.

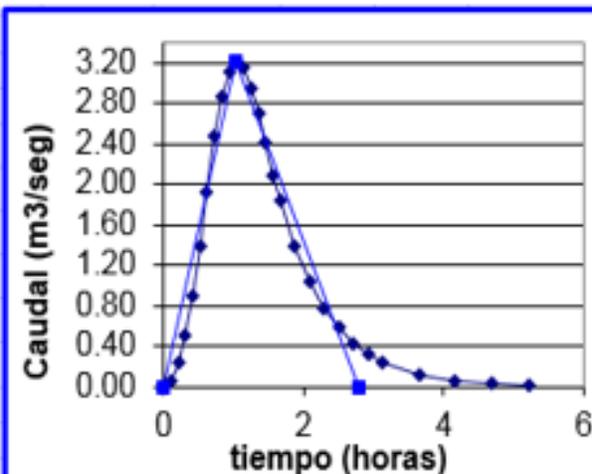




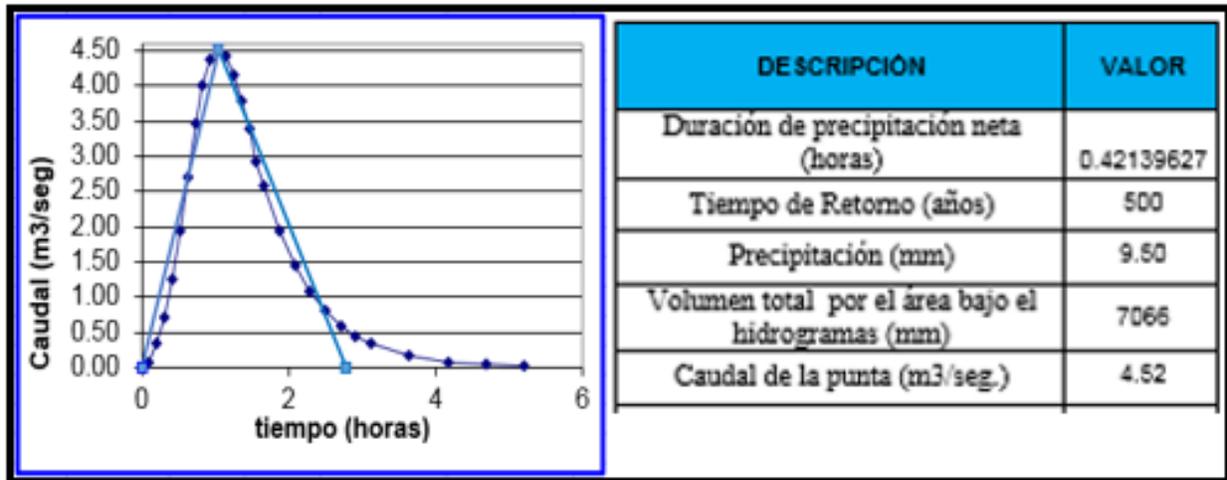
DESCRIPCIÓN	VALOR
Duración de precipitación neta (horas)	0.42139627
Tiempo de Retorno (años)	25
Precipitación (mm)	5.05
Volumen total por el área bajo el hidrogramas (mm)	7066
Caudal de la punta (m ³ /seg.)	2.40



DESCRIPCIÓN	VALOR
Duración de precipitación neta (horas)	0.42139627
Tiempo de Retorno (años)	50
Precipitación (mm)	5.85
Volumen total por el área bajo el hidrogramas (mm)	7066
Caudal de la punta (m ³ /seg.)	2.78



DESCRIPCIÓN	VALOR
Duración de precipitación neta (horas)	0.42139627
Tiempo de Retorno (años)	100
Precipitación (mm)	6.77
Volumen total por el área bajo el hidrogramas (mm)	7066
Caudal de la punta (m ³ /seg.)	3.22



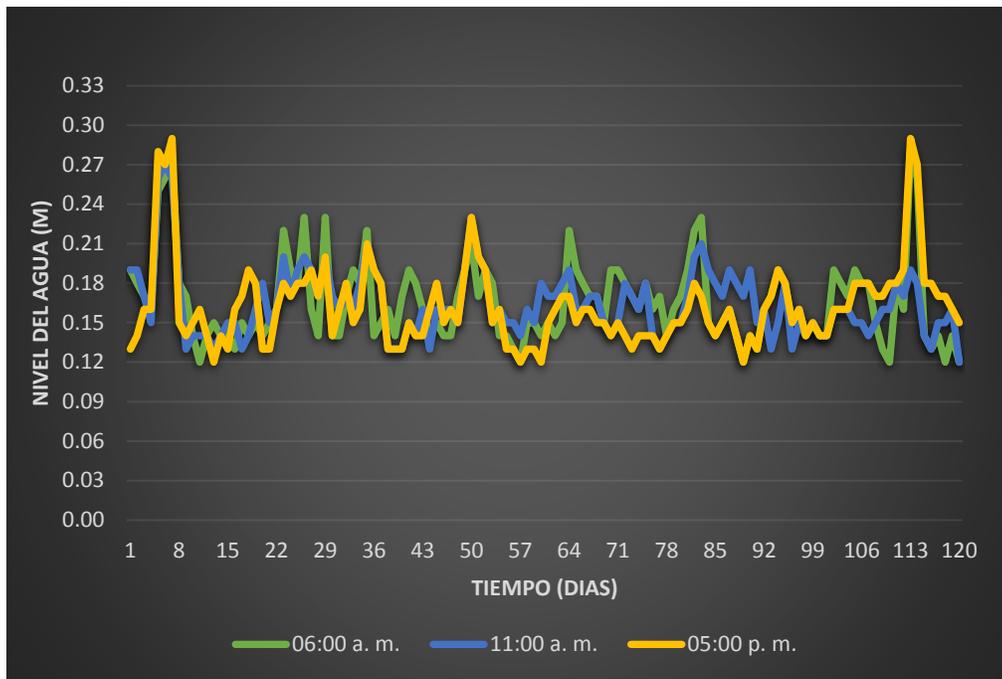
Fuente: HidrojING. Editado por: Villamizar, R. (2017)

➤ NIVEL DEL AGUA

Los resultados registrados del comportamiento del nivel de agua en la quebrada La Viuda, se presentan en el (Gráfico 8), donde se observa una variación en el tiempo asociada en mayor parte por las altas y bajas precipitaciones que se presentaron en el punto de estudio, así mismo se identifica que para los cuatro (4) mese de muestreo, los días (7 y 113) perteneciente el primero al 29/07/17 y el segundo el 14/11/17, se observa los picos más altos de nivel registrado, por las fuertes lluvias que se presentaron, en la zona de estudio, de igual manera, se dice que los niveles más bajos que presento el cauce, se registraron en la hora de la tarde, hora utilizada por los campesinos de la zona, para instalar sus sistemas de riego, es importante mencionar que ellos deciden captar el agua en las horas de la tarde, manifestando que en la noche es donde aumenta el nivel del agua permitiendo que la mayoría de los campesinos se puedan beneficiar.

Además, todo esto, provoca que el nivel del agua disminuya y aumente en las mañanas cuando estos suspendan los sistemas de riego, presentando un caudal promedio de (57 l/s), en la parte alta del cauce, y un caudal de (46 l/s) en la poparte baja (fotografía 8). Es por eso que los niveles registrados son afectados un poco por las fluctuaciones del nivel del cauce afuera de él, ya que el flujo en este sitio y en general en todo el cauce es inestable

Gráfico 8. Nivel del agua en un punto del cauce



Fuente: Villamizar R, (2017).

Fotografía 8. Comparación del caudal presentado en la parte alta y baja de la microcuenca.



Fuente: Villamizar R, (2017)

8.3. ANALISIS DE SEDIMENTOS

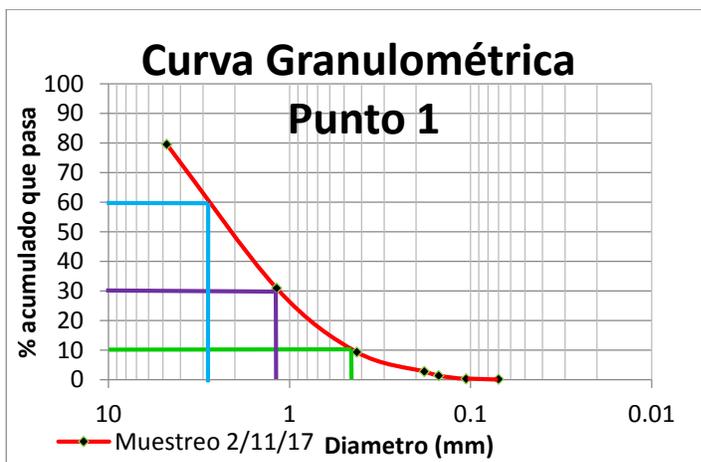
➤ GEOLOGIA

La geología del área del municipio de Chitagá está enmarcada dentro del desarrollo geológico de la Cordillera Oriental de Colombia,

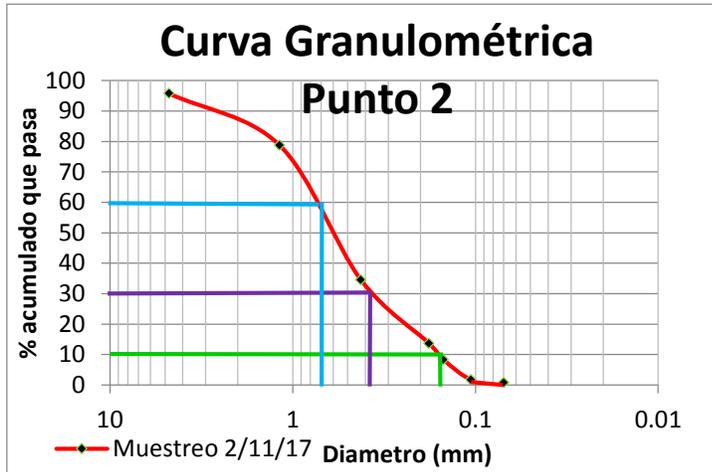
Para la cuenca en estudio la caracterización y granulometría de los sedimentos en los diferentes puntos de medición del cauce y su margen de manera general son gravas finas, arenas gruesas, (Gráfico 9) dependiendo del punto de muestreo e influenciado por las precipitaciones del lugar y las características que viajan de modo más continuo con el flujo (flujo turbulento) y los aumentos o disminuciones de los caudales.

Además, los muestreos realizados en diferentes puntos del cauce permitieron determinar que la variación de los sedimentos en cuanto, a los contenidos de pesos retenidos refleja una continuidad en el transcurso del cauce, siendo las arenas las que más predominan, de igual forma se observó, procesos de socavación en algunos tramos del cauce, pero en otros tramos se produce un efecto contrario, como se pudo corroborar en campo con el geólogo Jesús Ramón Delgado, quien afirma que en la microcuenca La Viuda, lo que presenta es una aglomeración dentro del cauce, cambiando el comportamiento del flujo, produciendo una perturbación física y modificación de las características hidráulicas cuyos efectos son reflejados en la reducción de la profundidad, reducción de la capacidad de flujo y favorece las crecientes e inundaciones que superan la altura de los bancos, además el cauce y sus laderas se presentan más suelos que rocas, presenta bastantes bloques desplazados, característicos de avenidas torrenciales tiempo atrás,

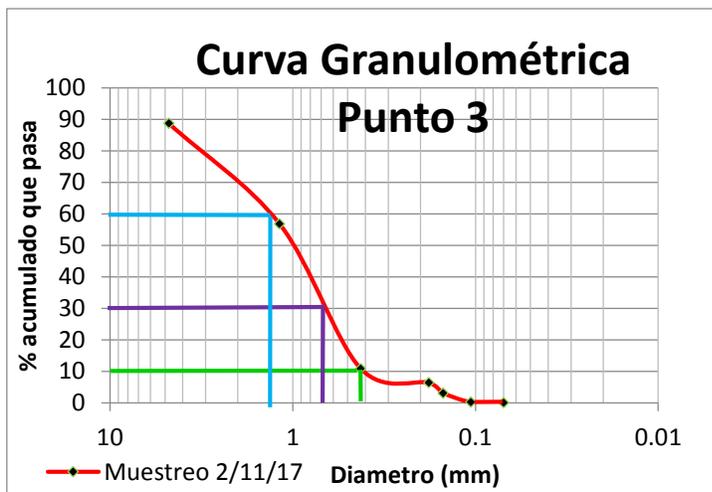
Gráfico 9. Caracterización granulométrica Quebrada La Viuda



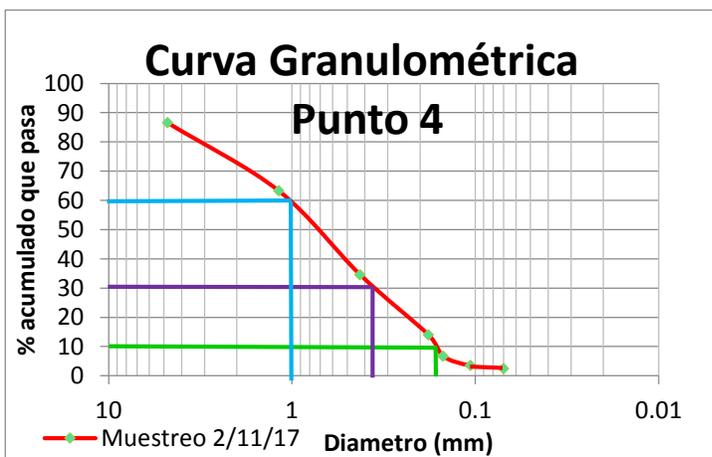
MUESTRA - PUNTO #1		
N° TAMIZ	% RETENIDO	% PASA
4	20.478	79.522
16	48.570	30.952
40	21.611	9.341
80	6.587	2.755
100	1.377	1.377
140	1.105	0.272
200	0.086	0.186
FONDO	0.186	0
	100	



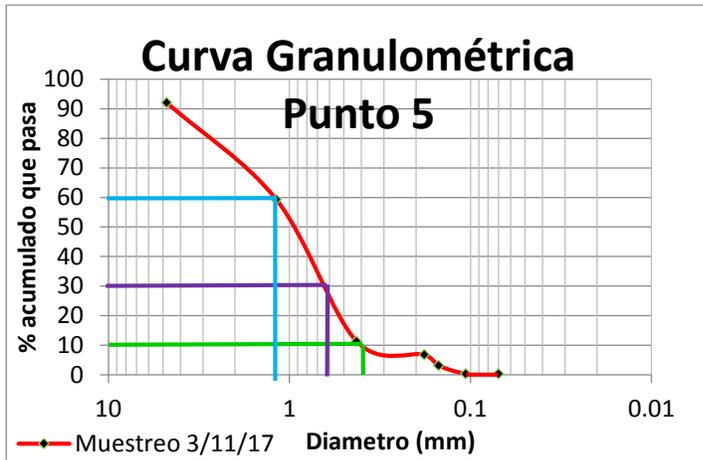
MUESTRA - PUNTO #2		
N° TAMIZ	% RETENIDO	% PASA
4	4.176	95.824
16	17.048	78.776
40	44.134	34.642
80	20.936	13.705
100	5.369	8.337
140	6.539	1.798
200	1.015	0.783
FONDO	0.783	0
	100	



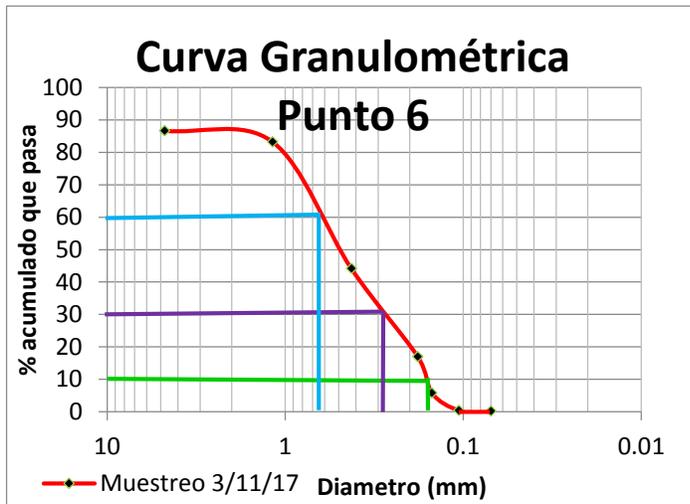
MUESTRA - PUNTO #3		
N° TAMIZ	% RETENIDO	% PASA
4	11.243	88.757
16	31.907	56.850
40	45.929	10.921
80	4.515	6.407
100	3.258	3.149
140	2.878	0.271
200	0.158	0.113
FONDO	0.113	0
	100	



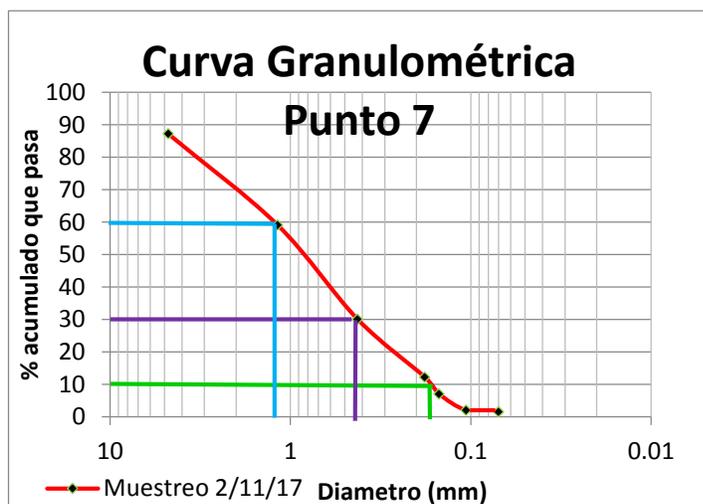
MUESTRA - PUNTO #4		
N° TAMIZ	% RETENIDO	% PASA
4	13.478	86.522
16	23.273	63.249
40	28.665	34.584
80	20.587	13.997
100	7.291	6.706
140	3.242	3.464
200	1.012	2.452
FONDO	2.452	0
	100	



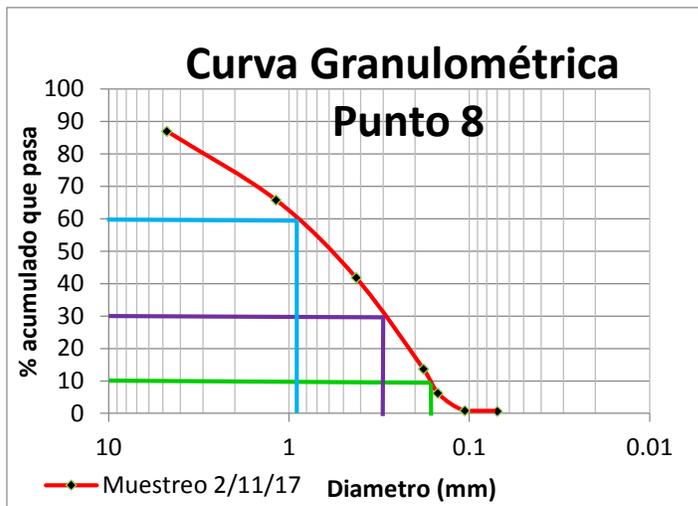
MUESTRA - PUNTO #5		
N° TAMIZ	% RETENIDO	% PASA
4	7.965	92.035
16	32.779	59.255
40	47.983	11.272
80	4.510	6.763
100	3.653	3.109
140	2.766	0.343
200	0.049	0.294
FONDO	0.294	0
	100	



MUESTRA- PUNTO #6		
N° TAMIZ	% RETENIDO	% PASA
4	13.356	86.644
16	3.407	83.236
40	39.097	44.140
80	27.139	17.001
100	11.230	5.771
140	5.337	0.434
200	0.237	0.197
FONDO	0.197	0
	100	



MUESTRA-PUNTO #7		
N° TAMIZ	% RETENIDO	% PASA
4	12.739	87.261
16	28.109	59.152
40	29.035	30.117
80	17.876	12.242
100	5.197	7.045
140	5.060	1.985
200	0.442	1.543
FONDO	1.543	0
	100	



MUESTRA-PUNTO #8		
N° TAMIZ	% RETENIDO	% PASA
4	13.017	86.983
16	21.232	65.751
40	23.946	41.805
80	28.146	13.658
100	7.396	6.262
140	5.475	0.787
200	0.136	0.652
FONDO	0.651743	0
	100	

Fuente: Villamizar R, (2017).

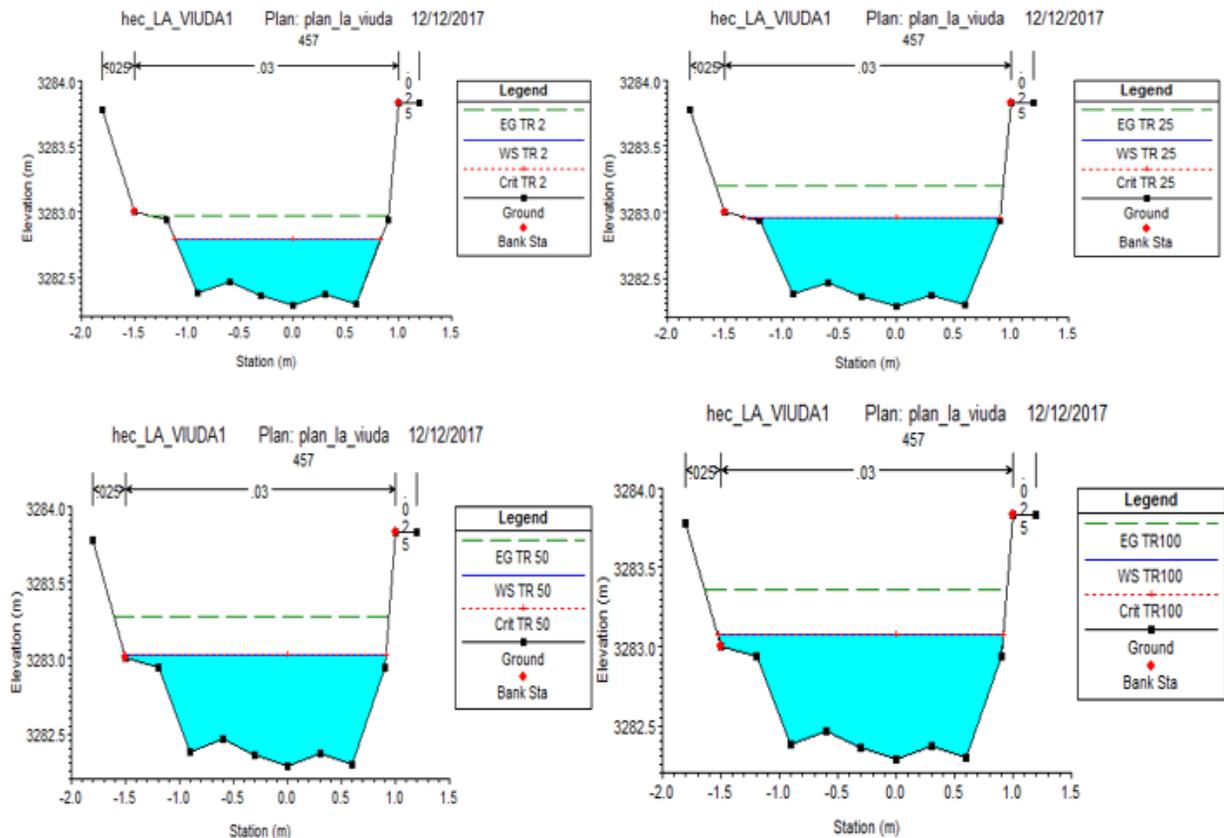
8.3 ANALISIS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES HEC-RAS

El modelamiento de las secciones transversales en HEC-RAS son herramientas necesarias que se efectúan para predecir el comportamiento de una fuente hídrica; así pues, como primera medida se realiza el levantamiento de la geometría del terreno, proceso desarrollado en ArcGis seguido del ingreso de las secciones transversales, junto a la información correspondiente en cada tramo, incluyendo el caudal y la pendiente del cauce, proceso que se desarrolló en el HEC- RAS.

A continuación, se presentan los resultados generados de la simulación dada, para efectos de visualización se toma una sección del cauce, donde permite observar los cambios de la variación en función de los caudales (m^3/s), provenientes de los Hidrogramas para los tiempos de retorno, con respecto al tiempo, los cuales se encuentran asociados al aumento o disminución del caudal, según la precipitación presentada en la microcuenca, además permite observar los perfiles del tramo y el área de flujo (Anexo 4), de igual manera el gráfico representado genera tres trazos, siendo el primero de color negro que representa el grado energético en la sección, el segundo de color rojo que indica la profundidad crítica y el tercero azul, el cual muestra la elevación de la superficie de agua en cada paso del tiempo(gráfico 11).

Por otro lado cada uno de los tramos estudiados permiten observar hacia que margen se pueden presentar posibles inundaciones, según las características de los puntos de muestreo, altura de los bancos y las condiciones hidrometeorológicas de la zona en estudio; Así pues, se tiene predicción que las áreas más susceptibles a inundarse, cuando se presenten crecientes son las vegas que se encuentran en la parte media y baja de la microcuenca, en su mayor parte al margen derecho aguas abajo del cauce, manteniéndose expuestos de manera directa a la acción de los cambios morfológicos del cauce y a los eventos que se presentan en el mismo.

Gráfico 10.Secciones transversales



Fuente: Villamizar R, (2017)

8.5 IDENTIFICAR LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS CRECIENTES SÚBITAS DE LA MICROCUENCA LA VIUDA

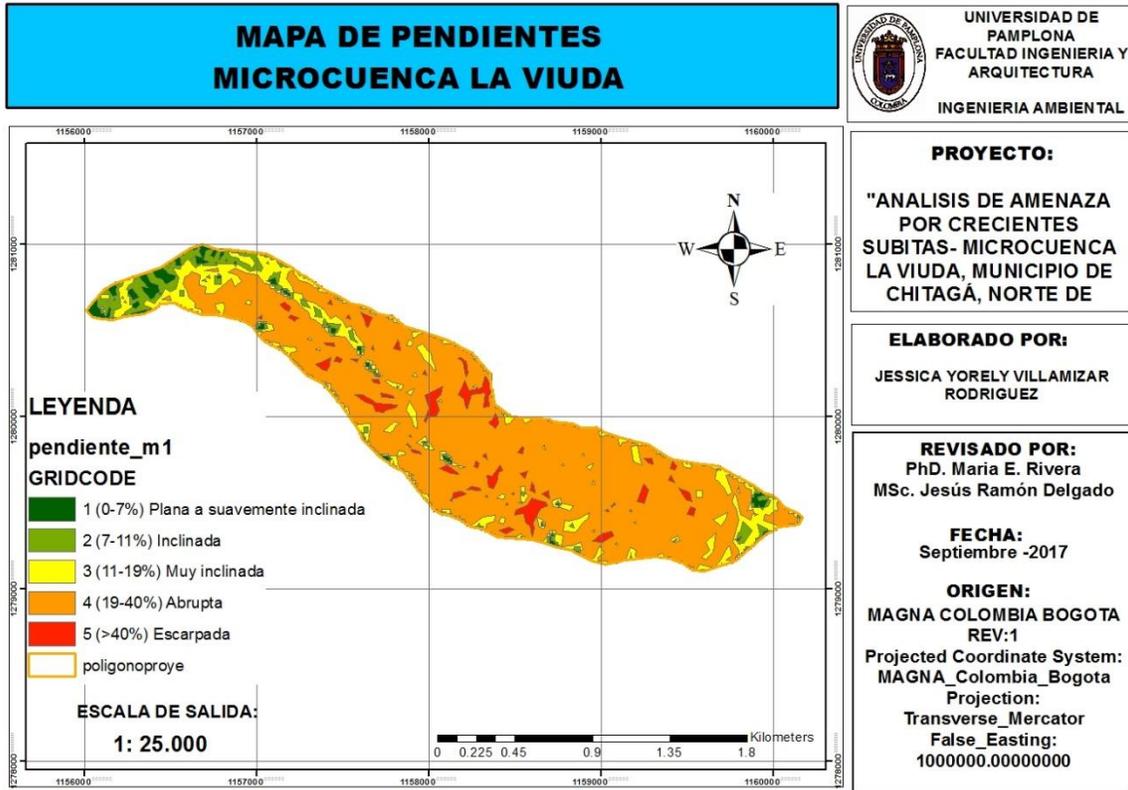
A continuación, para la identificación de los principales factores que generan crecientes súbitos se utilizaron principalmente: La ubicación e identificación de las características morfométricas de la zona de estudio, el segundo la inclinación del terreno, cobertura, geología y precipitación, presentes en la microcuenca La Viuda.

➤ PENDIENTE

Con respecto al mapa de las diferentes pendientes (Imagen 8), que se encuentran presentes en la microcuenca La Viuda, municipio de Chitagá, obteniendo como resultado una pendiente media 25.5%, le corresponde un relieve de tipo fuerte (compuesto por cañadas y montañas) de acuerdo con la clasificación de Fuentes (2004), Esta característica favorece a la escorrentía, lo que da como respuesta mayor velocidad del agua en las corrientes y menor tiempo de concentración, además se encuentran presentes proceso erosivos (parte media y alta de la microcuenca) y con ello arrastre de

sedimentos. Lo anterior indica la presencia de planicies en la parte baja y aumenta el posible peligro de crecientes e inundaciones en zonas aledañas al cauce principal en esta zona, más aún la microcuenca presenta abanico aluvial en la parte baja.

Imagen 8. Pendiente del terreno, microcuenca La Viuda



Fuente: Villamizar R, (2017).

Se puede evidenciar en el mapa anterior los rangos de pendientes de (0%-7%), siendo este el menor rango de pendientes señalado en la microcuenca La Viuda, hace referencia a zonas planas a suavemente inclinadas presentando terrenos fácilmente encharcables con (98) polígonos que representan el (7%) del área de la microcuenca; de igual manera tenemos un rango de (7%- 11%) con inclinaciones muy ligeras, sus laderas prolongan generalmente hacia las zonas de cañón y de planicie, con (200) polígonos representando el (19%) del área de la microcuenca, al igual que el rango anterior su presencia es muy baja; Seguidamente se obtiene el rango de (11%-19%), en cuanto es a esta unidad de pendientes, se encuentra distribuida de forma heterogénea en toda la microcuenca, se caracteriza por ser muy inclinada con (244) polígonos representando el (28%) del área, continuando con la clasificación se denota el rango (19%-40%) siendo la pendiente abrupta, la más representativa que posee la microcuenca La Viuda (Fotografía 8), se muestran en las áreas de piedemonte y en las riberas del cauce, así mismo se evidencian depósitos aluviales. De igual forma, la presencia de estas áreas se da en gran medida al interior de la microcuenca con tan solo (11) polígonos, pero con un (39%) del área y una extensión de (176.29km²), finalmente un rango de (>40%), Esta unidad con el mayor nivel de pendiente escarpada o pendientes muy altas se presenta mínimamente en la microcuenca, con (51) polígonos que representa el (7%) del área de la zona de estudio, me gustaría dejar claro que esta última pendiente a pesar de que presenta un

área de menor proporción el grado de mayor inclinación que se presenta es de un (63%) a las expuestas anteriormente, así mismo su morfología obedece a laderas que configuran pendientes complejas muy altas, superando más de 40° de inclinación (Fotografía 8), obedece a procesos orogénicos, tectónicos locales del sistema de falla (Neis de Bucaramanga), comprendiendo alturas de 2400 a 3400 m.s.n.m, por otra parte en las pendientes abruptas y escarpadas se evidencian la presencia de deslizamientos, así como la pérdida de cobertura natural, la cual ha sido sustituida por la presencia de pastos y cultivos, cobertura que ha sido aminorada hasta el punto que solo se observan pequeños parches de vegetación nativa, principalmente en la parte media y baja de la microcuenca. A su vez se hace necesario mencionar la presencia de laderas escarpadas, siendo estas de menor proporción, pero con un grado de inclinación de (63°) grados, posibilitando la presencia de crecientes, ya que la capacidad de arrastre de los sedimentos y la velocidad del caudal en caso de tormentas se incrementa en pendientes altas y muy altas, contribuyendo a que los picos de crecidas sean más violentos.

Fotografía 9. Laderas abruptas, microcuenca La Viuda



Fuente: Villamizar R, (2017).

Fotografía 10. Laderas escarpadas, microcuenca La Viuda.

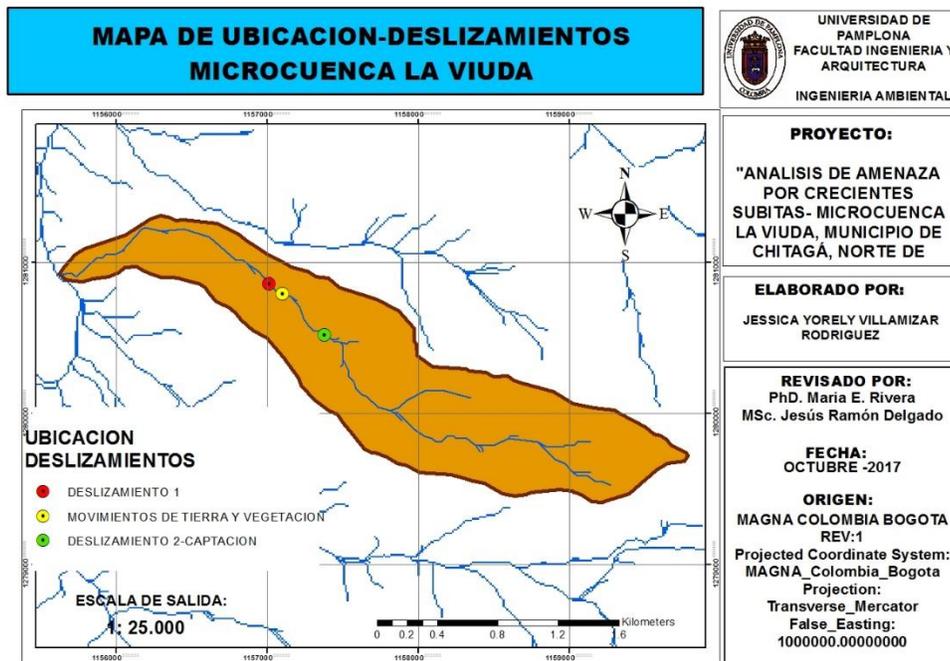


Fuente: Villamizar R, (2017).

➤ DESCRIPCIÓN DE LOS DESLIZAMIENTO MÁS REPRESENTATIVOS DE LA ÁREA DE CONFLUENCIA.

La microcuenca La Viuda en el municipio de Chitagá presenta dos (3) deslizamientos, (Imagen 9), siendo e de la parte central entre ellos pequeños movimientos de ladera uno frente al otro, donde se pueden evidenciar laderas con materiales frágiles y sueltos que presentan capas arenosas y con ayuda de la comunidad se pudo constatar que los deslizamientos ocurrieron en el año 2015 en los meses de junio y julio, tiempo en el cual se presentaron fuertes lluvias, siendo uno de los factores determinantes de los movimientos de laderas, debido a la saturación que presento el terreno y sumado a esto las elevadas pendientes que presenta la zona. Es importante referenciar que no tuvo efecto destructivo, su magnitud o intensidad del movimiento fueron bajos y en zonas no habitadas.

Imagen 9. Mapa de ubicación del deslizamiento, microcuenca La Viuda

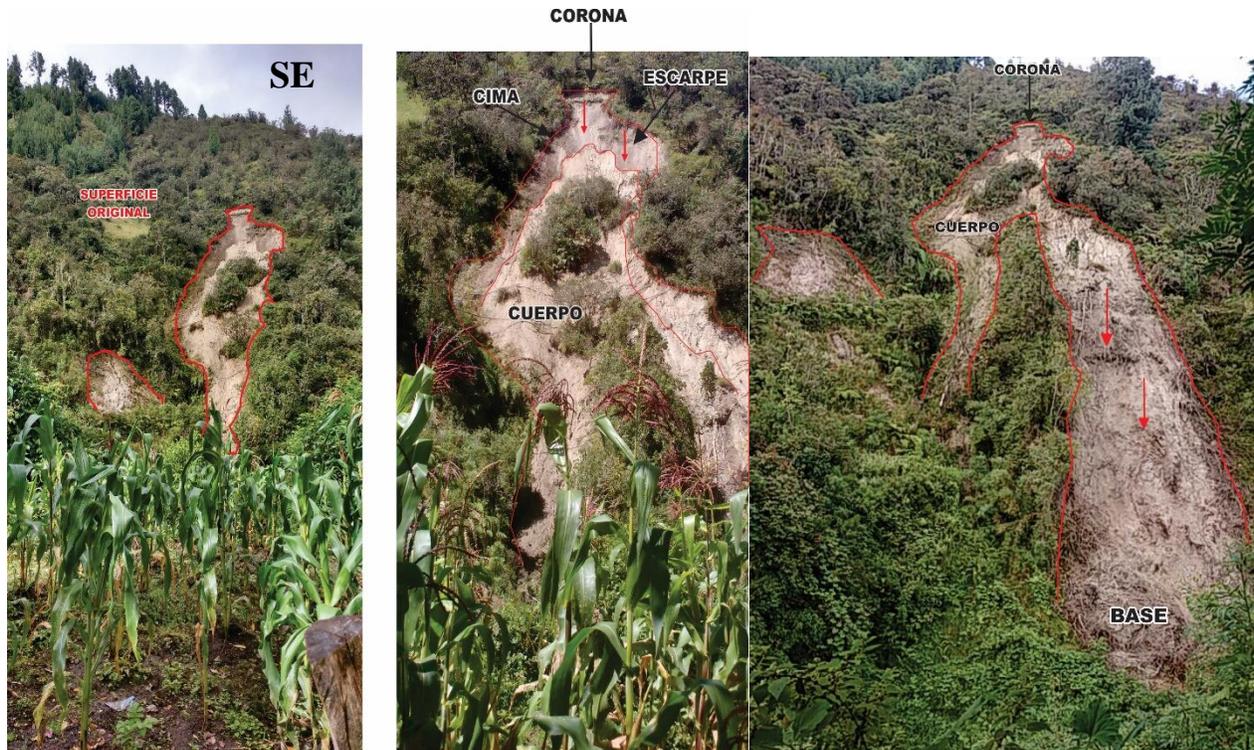


Fuente: Villamizar R, (2017).

Con respecto al primer deslizamiento de tierra, lo encontramos por el carretable que conduce a la Vereda La Amapola, al margen izquierdo del cauce, a una altura de 2456 con coordenadas (EO1156753 y NO1281085), el cual se encuentra causando daño, que inicia quitando material de su posición preexistente de modo que produce una pérdida de tierra útil dando lugar a terranqueo de acantilados y formación de escarpes (Imagen 10), a su vez se puede observar entre la cima y el cuerpo, una cicatriz de deslizamiento traslacional que indica que es más bien recto, el cual pierde soporte en la base y ejerce presión hacia abajo (empuja), de igual forma, cada vez que el suelo se satura, se observa pequeños desprendimientos de más suelos que rocas, donde el material cae directamente al cauce y es transportado inmediatamente aguas abajo, quedando inicialmente represado y luego, una vez que se rompe el represamiento, es transportado de forma repentina,

siendo los movimientos de tierra uno de los factores que pueden influir en las avenidas repentinas, colocando en riesgo la población del municipio presente en la parte baja de la microcuenca.

Imagen 10. Deslizamientos presentes en la microcuenca La Viuda, que obstruyen el curso del cauce directamente



Fuente: Villamizar R, (2017).

Seguidamente se encuentra un segundo deslizamiento de tierra a una altura de 2539, coordenadas (EO1157358, NO1280502), frente a los tanques desarenadores del acueducto, en donde la cobertura está dada principalmente por pastos para pastoreo, lo que ha favorecido la erosión por terraceo de ganado, donde se tienen potreros en alta pendiente, con un inadecuado manejo de las aguas de escorrentía, además caminos verdales, debido a su antigüedad se encuentran bastante inclinados, siendo el inicio de procesos de erosión (imagen 11). además, es un movimiento de tierra que presenta suelos con fragmento de roca metamórficas del Neis y fragmentos de roca ígnea y con un Horizonte (A) delgado que aún sigue presentando movimiento, información corroborada por el Geólogo MSc. Jesús Ramón Delgado, quien indico que es un deslizamiento compuesto, que tiene una componente rotacional y una componente de flujo de tierra con suelos arenosos, que aún se encuentra en movimiento socavando la margen izquierda del cauce, donde se ve reflejado el continuo lavado superficial cuando se presentan lluvias, en donde es claro que los factores no son solo antrópicos, sino que existe un control estructural y una zona de debilidad a lo largo de la margen derecha del río que se puede asociar a una posible falla geológica en dirección NE.

Por otro lado, en relación con los deslizamientos, se presentan en el trascurso del cauce encañonado y vertientes de alta pendiente inestables, pequeños movimientos de tierra, obstruyendo parcialmente el cauce de la quebrada (imagen 12), haciendo que este cambie su curso, estos

movimientos ocurren por movimientos en el tiempo, gravedad incluyendo las altas pendientes que presenta la microcuenca en las márgenes del cauce, lavado de suelo y pérdida de soporte por arboles grandes, además la vegetación no alcanza a detener el suelo y satura la caída de detritos, existiendo levantamientos de tierra unos más que otros, Sin embargo, el factor desencadenante de estos procesos es el inadecuado manejo de las aguas de escorrentía de las viviendas, además no se ha realizado un adecuado manejo agrícola, lo que provocó en muchos casos sobresaturación del suelo.

Imagen 11.Deslizamiento frente a los tanques desarenadores del acueducto del municipio de Chitagá



Fuente: Villamizar R, (2017).

Imagen 12.Movimientos de tierra, que obstruyen parcialmente el cauce de la quebrada.



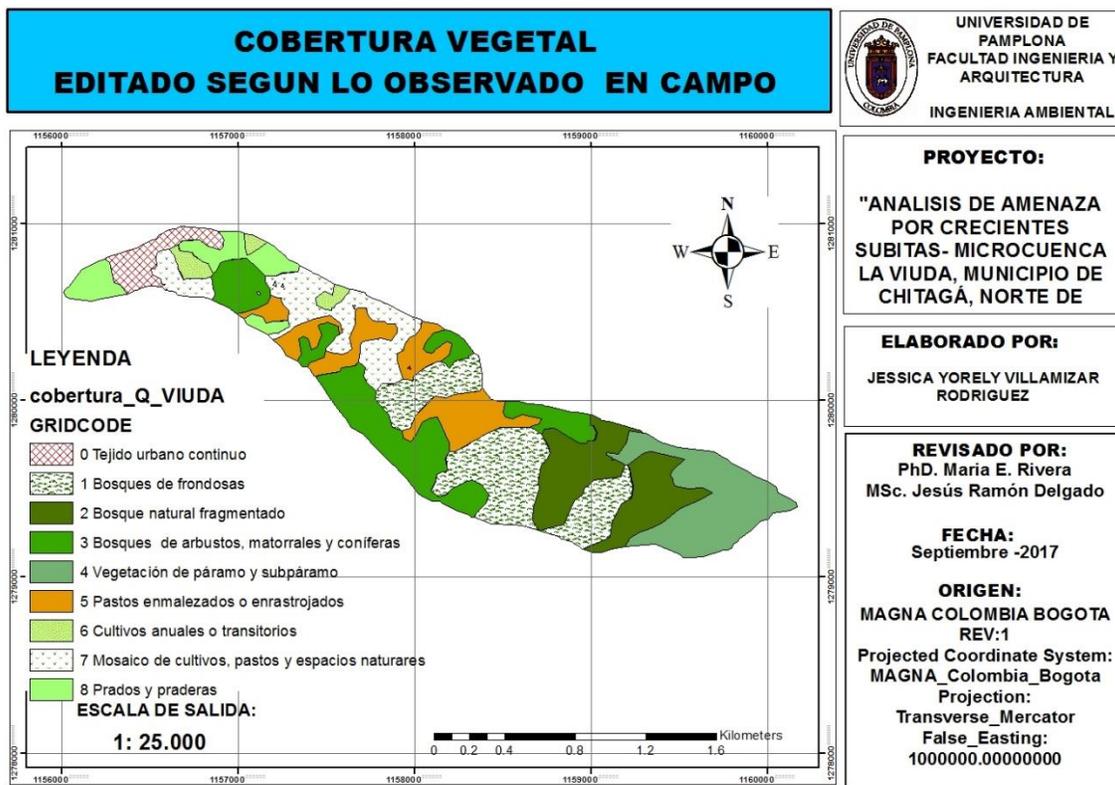
Fuente: Villamizar R, (2017).

➤ **COBERTURA**

El análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la Microcuenca La Viuda, del Municipio de Chitagá, permitió determinar las áreas de las diferentes clases de cobertura que sufrieron transiciones o cambios en la zona de estudio, de acuerdo con la metodología propuesta en el proyecto, los productos más importantes están referidos en los procedimientos utilizados en el proceso de adaptación e implementación de la metodología europea (CORINE Land Cover) a las especificidades del territorio colombiano, la zonificación de las coberturas de la tierra se desarrolló la leyenda adaptada a las diferentes coberturas de la tierra observadas en la microcuenca, a continuación se ilustra una representación esquemática del patrón espacial para el análisis e interpretación de la cobertura vegetal.

Todavía cabe señalar que, al procesar las imágenes, con ayuda del programa ArcGis cuantifico las coberturas vegetales y se procedió a ingresar los códigos de clasificación CORINE Land Cover, obteniéndose como resultado ocho (8), tipos de cobertura para la microcuenca La Viuda como se muestra en la (imagen 13), además se logró observar con el trabajo ejecutado en campo, que existían errores en el área y ubicación de algunas coberturas, puesto que en algunos casos disminuyo, como en otras aumento su área, Las coberturas predominantes en la zona de estudio, son esencialmente cultivos transitorios, pastos en la zona central y norte de la microcuenca y algunos segmentos de bosques y rastrojos. A continuación, se hace una descripción a detalle de las coberturas en cada uno de sus polígonos generados

Imagen 13. Mapa de cobertura vegetal editado según lo observado en campo



Fuente: Villamizar R, (2017)

Así mismo, con la verificación de imágenes en campo y el análisis de los mapas resultantes, se logró identificar procesos actuales de deforestación, deslizamientos y ampliación de la frontera agrícola, procesos que se consideran como factores detonantes en el incremento de la magnitud de las crecientes en la quebrada La Viuda, ya que aumentan la vulnerabilidad de la zona frente a eventos de mayores precipitaciones en la cuenca.

A continuación, se presenta la descripción de las coberturas identificadas en el mapa de cobertura vegetal para la microcuenca La Viuda.

TEGIDO URBANO CONTINUO: Hace referencia al casco urbano del municipio de Chitagá, el cual existen asentamientos humanos, incluyendo carreteras, viviendas, cementerio, casa de mercado, canchas deportivas, incluyendo cinco barrios (La Amapola, El Contenido, Serinza, El centro y VillaLina), que se encuentran dentro del área de influencia, siendo tres de ellos localizados sobre el margen derecho de la microcuenca La Viuda (fotografía 11), además se observa como el agua del cauce intentan ser limitadas con la construcción de muros de contención, muros de soporte de las viviendas y las bases del puente que conecta la vía nacional en este sector. correspondiendo a 4 hectáreas del total de la microcuenca. De igual manera es importante resaltar como el espacio de las orillas del cauce cada día son más reducidos por los pobladores, asentándose en el espacio que el cauce debe tener libre para que pueda explayarse en vez de elevar su altura de nivel del agua cada vez que haya una tormenta, de la misma manera no se vean implicados en eventos de crecida repentina, no obstante Dada la corta distancia entre la población y el ecosistema, este ha sido sometido a fuerte presión antrópica arrojando como resultado la falta de estudios hidrológicos y conocimiento de los pobladores y la falta de autoridad de administración municipal e identidades competentes, quienes son los encargados directamente de hacer cumplir los reglamentos que indican la distancia correspondiente que se debe respetar en cada una de las márgenes de una fuente hídrica a la hora de construir, en especial la quebrada La Viuda, la cual surte al municipio con el recurso hídrico; de igual manera controlar los vertimientos al cauce.

Fotografía 11. Cobertura vegetal, tejido urbano continuo microcuenca La Viuda.



Fuente: Villamizar R, (2017).

BOSQUES NATURALES Y FRONDOSAS: Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas, se caracterizan por un estrato más o menos continuo, además son vegetales que no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y características funcionales, contando con una extensión aproximada a los (49 ha), presentes aun en la microcuenca, siendo las especies más representativas de la microcuenca La Viuda se encuentran: los Saúcos y el palmiche (fotografía 12), a su vez la cobertura influye directamente en la capacidad de infiltración del agua en el suelo y genera una capa protectora del suelo contra los procesos de erosión, poseen la capacidad de retener gran cantidad de agua, Sin embargo, habría que resaltar la cobertura vegetal boscosa que todavía ocupa superficies importantes en la parte alta y media de la microcuenca, lo que favorecería la infiltración, debido principalmente a la intercepción de la lluvia y la disminución en la velocidad del agua de escorrentía, todo esto por ser muy resistente o muy permeable. Factor importante a la hora de presentarse fuertes tormentas en la zona. Además, favorece la erosión por encontrarse el suelo protegido contra el impacto de la lluvia

Fotografía 12. bosques naturales, frondosos -microcuenca la viuda.



Fuente: Villamizar R, (2017).

BOSQUE NATURAL FRAGMENTADO: Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno que se destinan a uso agrícola y que se encuentran temporalmente sin sembrar correspondiente al periodo de posterior a la cosecha o están preparándose para la siembra por lo general de cultivos transitorios o pastos (fotografía 13), es así como la humanidad cada vez hace parte de los factores que intervienen en los fenómenos naturales, pues estas actividades de forma de desordenada cada vez están siendo colonizadas en la parte alta de la microcuenca esta cuenta con área de (33,50 ha), permitiendo que los suelos pierda sus propiedades de captación y almacenamiento de energía, refugio de la fauna, de tal manera que aumentan las posibilidades de que cuando se presenten avenidas torrenciales el suelo se encuentre erosionado, y pierda regulación de la escorrentía y las gotas de lluvia viajen más rápido, los degrada rápidamente, lo que implica nuevamente la fragmentación del bosque e intensificando el evento de crecientes súbitas.

Fotografía 13.Bosque natural fragmentado –microcuenca La Viuda.



Fuente: Villamizar R, (2017).

BOSQUES DE ARBUSTOS, MATORRALES Y CONIDERAS: Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, cuenta con área aproximada de (43,47 Ha), En esta pueden incluirse otras coberturas resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición, es el caso para la microcuenca La Viuda, la cual cuenta con una extensión considerable de pinos siendo estos introducidos por los pobladores para el beneficio propio con la producción de madera (fotografía 14), además se logra identificar que estas siembras se efectúan al margen izquierdo, donde se encuentra el mayor grado de pendientes, provocando continuamente en épocas de vientos fuertes y altas precipitaciones las caídas de los arboles sobre el cauce de la microcuenca, siendo este uno de los factores más importantes que influyen en la amenaza por crecientes, debido a la obstrucción del paso del agua, generando represamientos, y cambiando repentinamente la trayectoria del cauce.

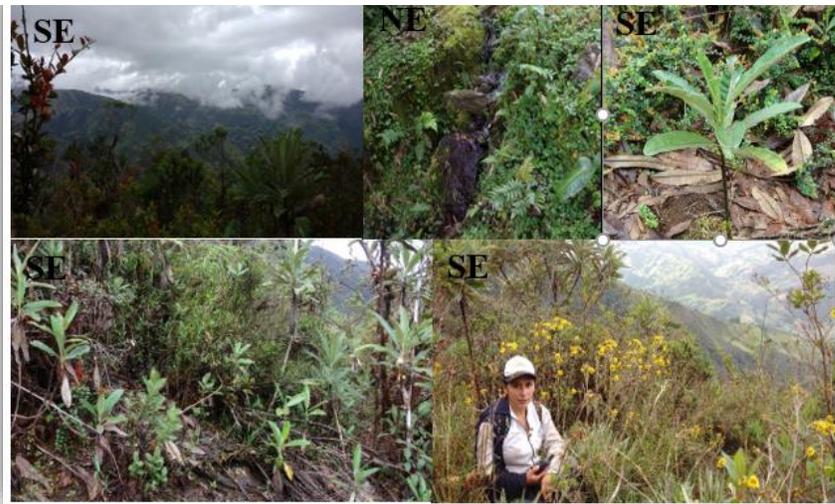
Fotografía 14.Bosques y coníferas -microcuenca La Viuda



Fuente: Villamizar R, (2017).

VEGETACION DE PARAMO Y SUBPARAMO: Cobertura vegetal que ocupa un área estimada de (38 Ha) catalogadas de protección y conservación de la microcuenca, a su vez corresponde a un tipo especial de vegetación abierta; donde se encuentra desde los (3.200 a 3.665 m.s.n.m.) de altura, caracterizado por extensos pajonales fríos y húmedos que conjuntamente con arbustillos enanos los cuales producen un singular efecto paisajístico. Sus suelos son generalmente húmedos y pantanosos, es por esto que es una de las coberturas de mayor importancia y cuidado, donde predomina en esta clase de vegetación la cobertura de pajonal y frailejones (fotografía 15), también se pudieron identificar la Chusques y musgos, entre muchas otras, teniendo como objetivo principal absorber y retener las aguas lluvias, encausándolas a lugares se desprenden los ríos y quebradas, además con la visita a campo que se realizó se puede inferir como la actividad antrópica tiene los alcances de mantener el páramo como espacio de producción ganadera, encontrándose allí el deterioro del mismo, por la cantidad de animales que allí se encuentran, generando a su vez terracetas en pendientes altas y muy altas, las cuales se encuentran aumentando la erosionabilidad del mismo, los cuales más adelante pueden ser indicadores de posibles deslizamientos y obstrucción del cauce desde la parte alta de la microcuenca.

Fotografía 15. Cobertura presente en el páramo las Sardinias, zona de influencia de la microcuenca la viuda



Fuente: Villamizar R, (2017).

PASTOS ENMALEZADOS O ENRASTROJADOS: Comprende las tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño, no obstante, cuenta con un área de (28 Ha), debido a patrón de distribución de los potreros es demasiado heterogéneo. Esta unidad de cobertura, interviene dentro de los efectos de la pérdida de material vegetal nativo, a su vez incide en la pérdida de servicios eco sistémicos como la eliminación del recurso forestal, la alteración de la capa orgánica del suelo, erosión del suelo, la alteración de la estructura y composición, alterando grandes extensiones de bosque causa de la ganadería, factor que disminuye la retención de agua (fotografía 16).

Fotografía 16.Rastrojos y pastos enmalezados, microcuenca La Viuda.



Fuente: Villamizar R, (2017).

MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES y CULTIVOS ANUALES Y TRANSITORIOS: Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes los cuales tienen incidencia en (4,98Ha) de la microcuenca, los cuales tienen un tiempo de producción estimados de (1 a 6 años) y cultivos transitorios presentes en una área estimada de (25,82Ha) con un tiempo de cosecha de (4 a 8 meses), los cuales tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo, además es una cobertura terrestre de manejo intensivo caracterizada por ser un conjunto de plantas cultivadas generalmente en huertas, que se consumen como alimento, así mismo se hace en pequeñas extensiones, dándole el máximo de cuidados y manteniendo (imagen 17,18,19), hecha esta salvedad a continuación se nombran los cultivos que se encuentran presentes en la microcuenca la viuda como son: papa, durazno, arveja, repollo, maíz, remolacha, zanahoria, tomate de árbol, fresa, ciruela, lulo, morón, higo, granadilla y uchuvas. Por otro lado, se puede concluir que este tipo de cultivos, van siendo ampliados por los pobladores para desarrollar su actividad agrícola extendiéndose y masificándola hacia la rinde de la red hídrica, produciendo afectaciones tales como la contaminación por vertimientos químicos, factor que incide en la erosión del suelo, además de una descontrolada extracción del recurso hídrico, para abastecer sus necesidades.

Fotografía 17.Cultivos anuales y transitorios presentes en la microcuenca La Viuda



Fuente: Villamizar R, (2017).

Fotografía 18. Prados y praderas para el uso exclusivo de ganadería-
microcuenca La Viuda



Fuente: Villamizar R, (2017).

Fotografía 19. Cercas dentro del cauce, factor de posible represamiento- Quebrada La Viuda

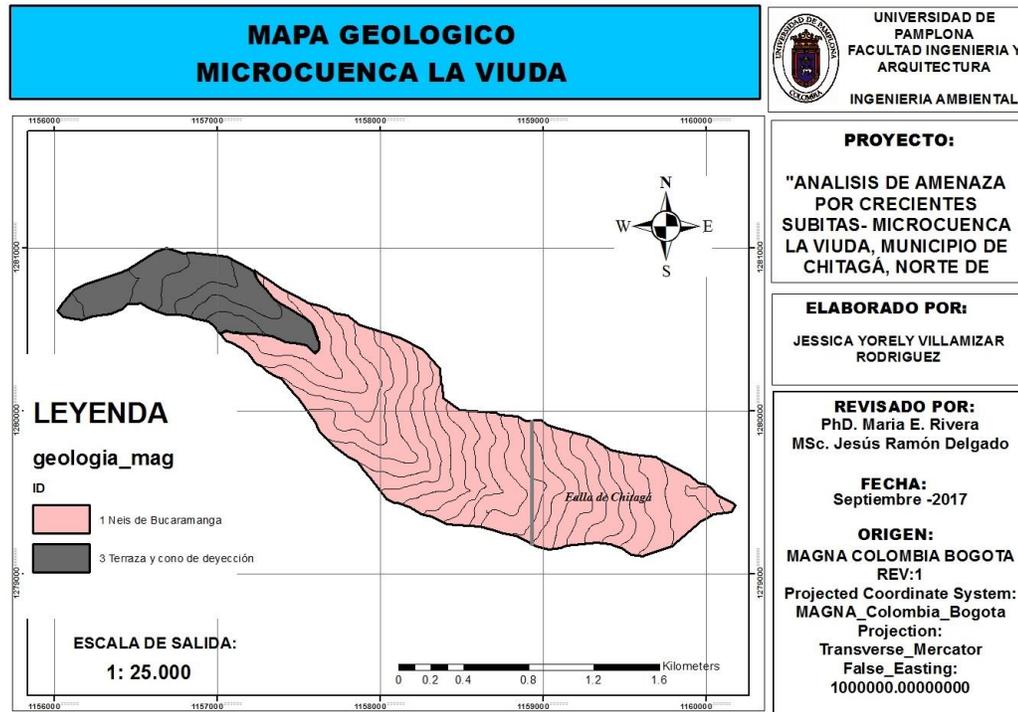


Fuente: Villamizar R, (2017).

➤ GEOLOGIA

Desde el punto de vista geológico estructural de la microcuenca La Viuda, se inició a partir de la plancha H1, encontrándose para la zona en estudio, tres clasificaciones, siendo la primera el neis de Bucaramanga, quien es la unidad más antigua del basamento ígneo-metamórfico del Macizo de Bucaramanga, cono de deyección, y formación la luna, la cual, en la salida de campo que se realizó a la microcuenca en compañía del geólogo Jesús Ramón Delgado, no se logró evidenciar esta formación por lo tanto no se ilustra en el respectivo mapa(imagen 14).

Imagen 14. Mapa geológico –microcuenca La Viuda



Fuente: Villamizar R, (2017).

En la imagen anterior se observa una franja la cual hace referencia al Neis de Bucaramanga (Ward *et al.*, 1973) (NPb), y una segunda franja a una terraza y cono de deyección en la zona de estudio, esta unidad hace parte de la Cordillera Oriental, formando laderas de pendientes medias a altas y de relieve bajo. Las rocas relacionadas con el Neis de Bucaramanga afloran entre la parte media y alta de la microcuenca, litológicamente la unidad se encuentra construida por neis de cuarzo feldespáticos, neis anfibólicos, anfibolitas, y migmatitas. En su gran mayoría presenta un alto grado de meteorización y fracturamiento, donde en el recorrido de la parte media de la microcuenca por su margen derecha se encuentran neis, además se encuentran rocas metamórficas, neis de Bucaramanga, presenta un bandeamiento a la cuales para mirar su dirección se decide realizar el buzamiento siendo este 84/78, (fotografía 20) con bandas de cuarzo que le dan un tono blanco y los anfíboles del cuarzo producen las bandas oscuras a si mismo se pudo determinar venas de cuarzo lechoso, encontrándose pasos arriba la falla de Chitagá, además formaciones de micas en donde se logra evidenciar los cambios de pendientes porque existen depósitos, así mismo cambio en el material de zona, fallida a rocas más frescas, creando procesos morfo dinámicos como los deslizamientos.

De igual forma se observó en la parte baja de la microcuenca depósito fluvio torrenciales con bloques de cuarzo con una matriz arenolodosa, bloques subangulares hasta 50 cm de diámetro, además presenta un ambiente saturado por condiciones de descarga, este depósito de abanico o cono de deyección (Qcd) contiene gran cantidad de grandes bloques que forman parte de la

geología de la zona y en su momento pudieron ser arrastradas por corrientes torrenciales para el caso de los bloques transportados, finalmente se puede inferir de la información anteriormente descrita que la microcuenca La Viuda, presenta rocas meteorizadas y sumado a esto rocas fragmentadas que generalmente son susceptibles a desprendimientos de rocas y movimiento de tierras, encontrándose a lo largo del recorrido de la microcuenca aguas arriba, depósitos de material de arrastre consistente en rocas de gran tamaño, grava, bancos de arena y material vegetal desprendido. las cuales caen directamente al cauce, generando una acumulación de material sobre el cauce, que en varias ocasiones ha causado taponamiento de la corriente, que hace que las crecientes que se presenten tengan un comportamiento más agresivo por represamiento y desborde.

Fotografía 20. Rocas bandeadas y dirección de buzamiento



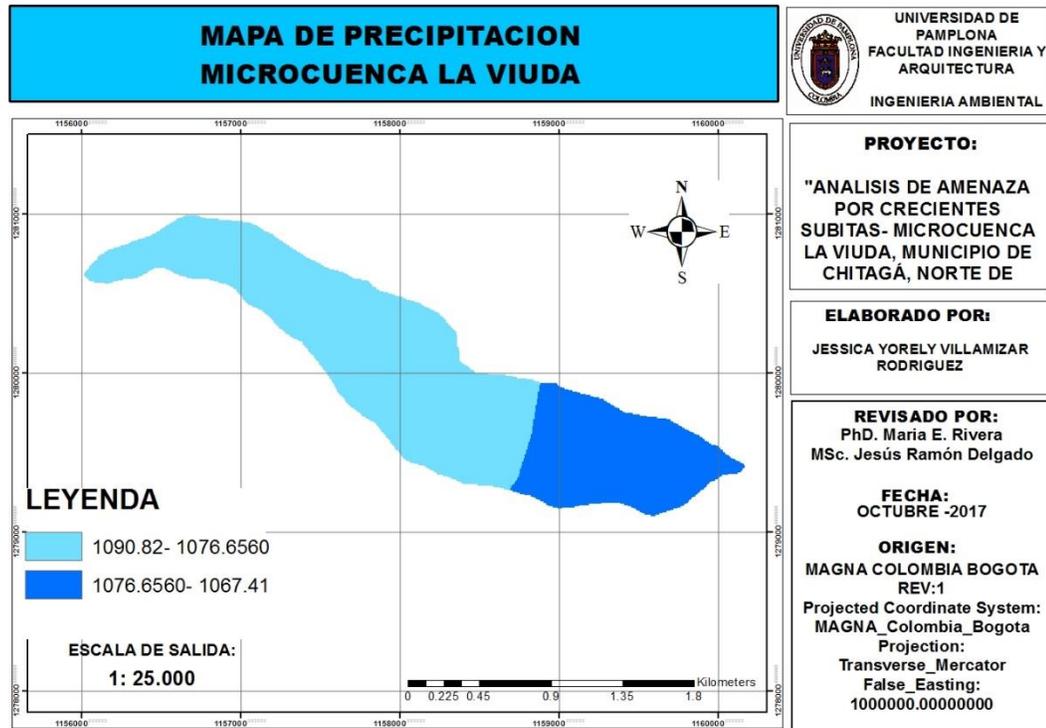
Fuente: Villamizar R, (2017)

➤ MAPA DE PRECIPITACION

La información sobre la precipitación proviene de las curvas IDF, registradas de las Estaciones Pluviométricas de Chitagá, Cacota, Los Rincón, Presidente, cuya serie de datos comprenden un periodo de 59 años de 1958 a 2017, donde se realiza una interpolación con objetos que estén correlacionados entre sí; es decir, las cosas que están cerca tienden a tener características similares; Es por eso que se toma la decisión de realizar una interpolación entre los datos de las estaciones anteriormente mencionados, pues estos tienen más posibilidades de ser similares que los que se encuentran más alejados, seguidamente se cruzó la información pluviométrica con parámetros como el coeficiente de compacidad (1.759), densidad de drenaje (2.668km^{-1}), pendiente media de la cuenca (25.86%), determinando el agua disponible en la superficie de la cuenca (precipitación), información necesaria que obtuvo como resultado el mapa de precipitación (Imagen 15), en el cual es posible evidenciar dos (2) rangos de precipitaciones, siendo menos lluvioso la parte alta de la microcuenca, comprendiendo un rango de precipitación media anual entre 1067 y 1076 mm, la cual se encuentra entre los 2470 hasta los 3667 m.s.n.m, así mismo el segundo rango representa una

lluvia promedio anual entre 1076 y 1090 mm, este confluye en la parte media y baja de la microcuenca a una altura de 2284-2470 m.s.n.m

Imagen 15. Mapa de precipitación, zona de estudio



Fuente: Villamizar R, (2017)

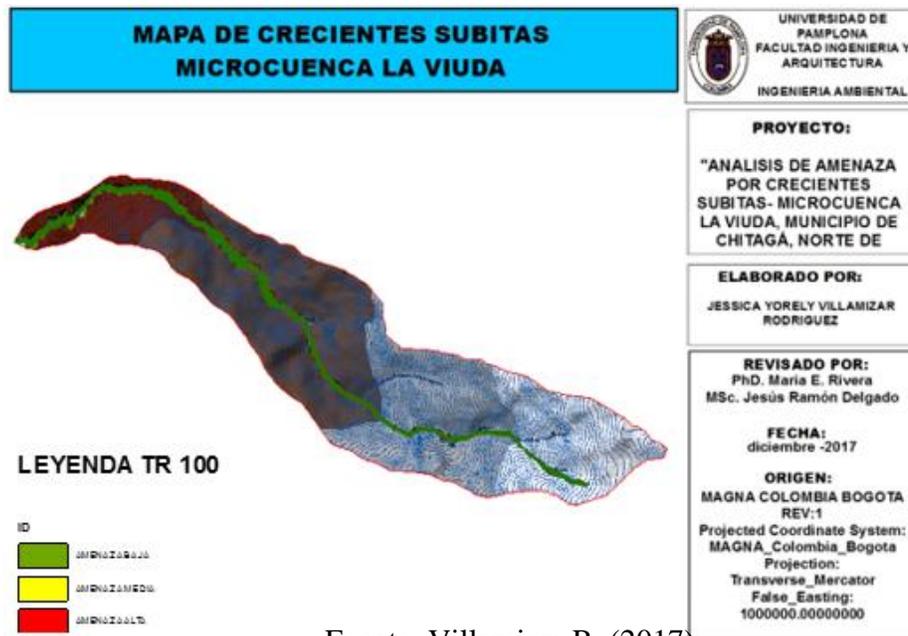
8.6. ANALISIS DE MAPA DE AMENAZA POR CRECIENTES SUBITAS

El área de afectación, según los resultados de la investigación en gran medida son las vegas de los predios y las viviendas que tienen contacto con el cauce, siendo la ribera derecha aguas abajo la de mayor afectación, pues sus pobladores debieron guardar una distancia, es decir, al borde de todo cauce de agua se debe respetar un espacio de treinta metros, o doscientos metros de la orilla, donde según lo dice el Código de los Recursos Naturales, no se debe construir y sólo se pueden hacer obras de protección como muros de contención y gaviones, ya que estos lugares son considerados de alto riesgo por su tendencia a desbordamientos en épocas invernales (artículo 3 del Decreto 1449 de 1977), además son zonas que resultan inoperantes ante estos procesos naturales.

Los elementos expuestos a la amenaza alta por crecientes súbitas, identificados en el casco urbano del municipio son principalmente viviendas, puentes, vías y patios traseros de las viviendas, es por eso la importancia de conocer la dinámica del sistema fluvial y no interferir con ella Para este caso, el análisis se realiza solamente sobre los datos de resultado de 100 años (Grafico 16), para llevar

a cabo una comparación del nivel del cauce, con los generados a partir de un tiempo de retorno de 500 años (Grafico 17), donde se presenta altos niveles de caudal.

Imagen 16. Mapa de crecientes súbitas TR 100 años



Fuente: Villamizar R, (2017)

Imagen 17. Mapa de amenaza por crecientes súbitas, TR 500 años



Fuente: Villamizar R, (2017)

Además, se muestra el área de inundación por crecientes súbitas generada por el modelamiento, desde una perspectiva completa del cauce estudiado para los diferentes periodos de retorno. Es así que para un tiempo de retorno de 100 años el área afectada es mínima, puesto que el cauce ese encuentra encañonado y no tiene espacio hacia donde este se pueda desbordar, pero al mismo tiempo este encañonamiento se presenta en la parte media y baja de la microcuenca, que se torna peligroso al sufrir algún tipo de taponamiento y afectar de manera inmediata la parte baja en las cuales las pendientes son menos abruptas y el flujo pueden superar sus bancos. Por otra parte, por ser tan encañonada y con un caudal bajo, en el mapa no se logra visualizar de la mejor manera es por ello que se expone el mapa para un periodo de retorno de 500 años, donde se visualiza las zonas afectadas o el aumento de nivel generado por las crecientes.

Con respecto a la categorización se presentan 3 categorías: amenaza alta, media y baja, presenta el resultado de las categorías definidas, las cuales presenta las siguientes características

ÁREA DE AMENAZA ALTA: esta zona es el área que el modelamiento me genera mayor afectación, en las vegas e infraestructuras presentes a las orillas del cauce. No obstante es importante aclarar que las viviendas y zonas que se encuentran a los márgenes de la canalización serán menos afectadas, logrando mayor velocidad del flujo en esta estructura y afectando la parte baja de la microcuenca exactamente un punto peligroso donde puede generar la mayor afectación, si esta creciente presenta arrastre de material vegetal y roca, será en el puente del barrio El Contenido, donde pasa actualmente la vía nacional que cubre la ruta Cúcuta- Bogotá, pues el espacio que este presenta es muy reducido.

El área de amenaza se extiende desde la cota de 2461 m.s.n.m, hasta la 2284 m.s.n.m, siendo la cota de 2347m.s.n.m, el punto más crítico, afectando viviendas localizadas en el área urbana del municipio de Chitagá, principalmente los barrios El Contenido, Cerinza y La Amapola, barrios que se localizan a las orillas de la quebrada La Viuda. Esta zona se identifica como sitio crítico no solo por la información de eventos históricos e información de camp, sino por la interpretación de los resultados del modelamiento con el Hec-RAS.

EL AREA DE AMENAZA MEDIA: El área corresponde a las áreas afectadas por crecientes súbitas con menor intensidad, frecuencia y magnitud que la amenaza alta. Son áreas que en el modelamiento superan los bancos y logran desbordarse, llegando a afectar zonas mucho mayores desde la parte alta de la microcuenca, pero con menor intensidad y menores daños sobre los eventos expuestos. La definición de esta área corresponde igualmente, con el área resultante del modelamiento realizado con Hec-RAS, la cual puede presentarse en cualquier momento de retorno de 500 años.

Esta amenaza se localiza desde la cota 2547 m.s.n.m hasta el tramo conocido como la maquinaria, barrio la Amapola, afectando principalmente las vegas de los predios a orillas del cauce.

AREA DE AMENAZA BAJA: Se hace necesario aclarar que el área podría verse afectada en un momento dado, si las condiciones medioambientales e hidrológicas de la microcuenca cambian. Esta amenaza se localiza en la parte alta de la microcuenca La Viuda y algunos tramos del cauce en la parte media, esta amenaza se localiza en el área rural.

8.7 SOCIALIZAR ANTE LA COMUNIDAD DIRECTAMENTE IMPLICADA EN EL PROYECTO Y ANTE LA ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL, LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES QUE DE ESTA INVESTIGACIÓN SE DERIVEN.

El día 19 de octubre de 2017, se presentó el proyecto “Análisis de amenaza por crecientes súbitas de la microcuenca La Viuda”, en la Institución Educativa Alonso Carvajal Peralta, Sede Departamental a la comunidad perteneciente al municipio de Chitagá, dando continuidad al PRAE de la institución, siendo participes la Corporación Autónoma Regional del Nororiente Colombiano (CORPONOR), integrantes de la administración municipal, profesores y alumnos de la sede principal e instituciones de los centros poblados de Presidente y Tane, obteniendo una participación de más de cincuenta (50) asistentes.

En cuanto al proyecto, se da inicio en primera medida, a dar a conocer el objetivo del proyecto y la metodología que se estaba empleando para su desarrollo, y algunos de los resultados que para la fecha ya se tenían, a su vez, manifestar la importancia, que trae consigo la realización del presente estudio, para la comunidad directamente implicada, la Alcaldía, la Gestión del Riesgo, y entre otros con el motivo de plantear algunas recomendaciones que puedan contribuir a la toma de decisiones por parte de las entidades competentes del municipio.

donde se dio a conocer el proyecto que se venía efectuando en el municipio más exactamente en la microcuenca La Viuda, su metodología empleada, y los resultados y las conclusiones que se obtuvieron de esta investigación

donde se dio a conocer el proyecto que se venía efectuando en el municipio más exactamente en la microcuenca La Viuda, su metodología empleada, y los resultados y las conclusiones que se obtuvieron de esta investigación ante la comunidad Chicaguense, instituciones educativas, personal de CORPONOR, juntas de acción comunal, administración municipal y ante la comunidad directamente implicada en primera medida un avance del proyecto, adjuntando evidencias de cumplimiento de las actividades o fases del mismo (anexo 2).

CONCLUSIONES

El área estudiada corresponde a un paisaje montañoso con pendientes que van desde abruptas a muy escarpadas y desniveles que le dan un carácter de riesgo por escorrentía, situación que causa que ante eventos pluviales se pueden presentar crecientes súbitos. Lo anterior se afirma con base en la interpretación de los resultados relacionados con la red de drenaje que indica que no es homogénea en toda el área de la microcuenca y está menos condicionada a avenidas agresivas, de tal manera que la amenaza por crecientes súbitas asociados a esta microcuenca son de mediana a baja intensidad, a su vez no se descarta que se puedan provocar, por el exceso de actividades antrópicas en la parte alta y media de la microcuenca, debido a la pérdida de cobertura vegetal que se viene presentando en la actualidad, no obstante la información aportada por este análisis de amenaza por crecientes súbitas puede ser utilizada para propósitos de estudios hidrológicos e hidráulicos que puedan involucrarse en la ordenación y planeación del municipio de Chitagá y posteriores estudios

Las características del relieve, suelos y cobertura vegetal de la microcuenca La Viuda, son factores detonantes que ocasionan desbordamientos, principalmente asociadas a la variación de las condiciones climáticas, a la localización de asentamientos urbanos en las orillas del cauce y al acelerado proceso de deforestación y ampliación de la frontera agrícola y urbana. Lo anterior ha incrementado igualmente los procesos erosivos a lo largo de la microcuenca, incrementando las posibilidades de ocurrencia de deslizamientos laterales, depósitos de sedimentos (roca, piedra, sedimentos menores y material vegetal) y acumulación de sedimentos en el cauce, ocasionando represamientos y desbordes. La tendencia a la generación de crecientes repentinas está condicionada por factores permanentes como la naturaleza, la geología, la morfología y la vegetación natural; y en primer orden las características de las precipitaciones (tipo, intensidad, Duración, distribución, etc.)

A menor tiempo de duración en los tiempos de retorno mayor es su intensidad; es por eso que para el municipio de Chitagá en un tiempo de duración de 10 minutos se presentan intensidades de 41.842, 50.75, 58.73, 67.96, 71.23, 82.43, 89.78, 95.39, 110.39 y 133.90 para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 75, 100, 200 y 500 años respectivamente.

Los Hidrogramas para la microcuenca La Viuda, indican caudales totales que varían desde 16,15m³/s para un tiempo de retorno de 2 años hasta 51,67m³/s en tiempo de retorno de 500 años observándose un aumento en función de las altas precipitaciones que pueden llegar a presentarse en la zona de estudio.

Mediante el monitoreo realizado durante cuatro (4) meses en la quebrada La Viuda, en cada uno de los puntos de aforo establecidos, se observó cómo disminuye el caudal en la parte alta con un promedio de 53 l/s y un caudal de 45 l/s en la parte baja, debido a las diferentes captaciones para los sistemas de riego y sumado a esto las bajas precipitaciones generadas en la zona, así mismo se evidencian niveles máximos de 29 cm para las 6:00 am, 11:00 am y 5:00 pm.

Los sedimentos que más predomina en la microcuenca La Viuda, de acuerdo con la granulometría realizada son las arenas mal gradadas. Además, se observó que el cauce presenta mayor tendencia a sedimentarse que a presentar socavación en su mayoría de los tramos.

la microcuenca La Viuda se encuentra la falla de Chitagá, con presencia de rocas estratificadas, rocas ígneas, ígneas metamórficas; también, se evidencian grandes bloques transportados que en su momento fueron arrastrados por corrientes torrenciales.

Respecto a la geometría del cauce, se encuentra condicionada a la topografía detallada de la zona de estudio, por lo tanto, para un estudio de mayor precisión se hace necesario contar con la mayor cantidad de información levantada en campo que permite mejores ajustes, es decir realizar un análisis con un periodo más amplio que tome registros de los periodos de lluvia y sequía, así mismo conocer de manera más detallada cada uno de los factores que generan el comportamiento de las crecientes súbitas en el tiempo y a largo plazo.

El presente análisis pretende iniciar un proceso de conocimiento de las condiciones de amenaza por crecientes súbitas en la microcuenca La Viuda, con el fin de que las autoridades, instituciones y pobladores puedan desarrollar las acciones pertinentes para salvaguardar sus vidas y sus bienes ante la ocurrencia de eventos de amenaza o desastre.

Los resultados de la modelación con Hec-RAS permitieron la definición de áreas donde probablemente se producirán daños debido a las crecientes súbitas, constituyéndose en un aporte al conocimiento del riesgo a nivel local. Los resultados indican niveles críticos en las altitudes de 2345 a 2397 m.s.n.m, siendo estos sitios áreas con presencia de asentamientos humanos, afectando infraestructuras como viviendas, establecimientos, puentes, vías y cultivos.

En la microcuenca La Viuda, no existe probabilidad considerable de afectaciones mayores, si se constituye como el área de mayor recepción la cual direcciona todo su potencial hidrológico hacia la parte media y baja de la microcuenca, afectando sectores urbanos en la parte baja donde las magnitudes de los eventos significan una amenaza de consideración. Por esta razón la parte alta de la microcuenca debe contar con la definición de medidas de protección y control ante los procesos de deforestación y ampliación de la frontera agrícola que se encuentran activos en la actualidad.

RECOMENDACIONES

Por la falta de estudios en las microcuencas del municipio de Chitagá Norte De Santander, sumado a esto los inconvenientes presentados durante la ejecución del presente proyecto y pensando en las comunidades que se verán directamente implicadas se señalan las principales recomendaciones, para evitar situaciones similares a las presentadas en el año 2015:

- Dar continuidad al estudio de los factores determinantes de las crecientes súbitas de manera más detallada, con equipos de precisión, y un monitoreo constante para dar seguimiento de manera más veraz, y así identificar correctamente la categoría de la amenaza, ya que se podría estar desconociendo los periodos donde se presentan tiempos con precipitaciones elevadas que no fueron evaluados en este estudio.
- A la alcaldía del municipio como primera autoridad, tomar medidas de forma inmediata, frente a la amenaza por crecientes súbitas, que presenta las comunidades que habitan en la ronda hídrica de la microcuenca y zonas aledañas, ya que es evidente que las actividades antrópicas son una problemática, que en muchas ocasiones incrementa los efectos de los desastres naturales.
- A la autoridad regional para la protección y cuidado del medio ambiente COORPONOR (corporación autónoma y regional de la frontera nororiental), verificar de manera más rigurosa que se dé cumplimiento a las leyes estratégicas para la preservación y conservación de las cuencas del municipio.
- Se recomienda a la administración municipal delegar personal, que se encargue de actividades de limpieza y mantenimiento del cauce, a través de las cuales se acumula el material de arrastre en sitios específicos de las orillas del cauce, esto con el fin de permitir mayor afluencia del canal del río.
- Fortalecer los sistemas organizativos y administrativos de gestión de riesgos adecuándolos a la realidad de los desastres que se presentan. además, la asociación, cooperación de la sociedad y la adopción de un enfoque preventivo. Para que así no sea exclusivamente de atención de emergencias.
- Evitar la erosión excesiva del uso del suelo por parte de la población aledaña, dedicada a las actividades agronómicas, cercana a la ronda hídrica evitando el uso indiscriminado de los recursos presentados en la zona limítrofe de la quebrada.
- Dar seguimiento por parte de los entes encargados a los deslizamientos presentados en los terrenos cercanos de la ronda hídrica, y buscar mecanismos que pueden ser determinantes para la prevención de unos posibles represamientos.
- Evaluar los puntos del cauce, que puedan verse afectados por taponamientos a causa de los desechos que son arrojadas de forma indiscriminada al canal, disminuyendo el área por la cual circula el agua y en consecuencia aumentando el área superficial inundable. Realizando campañas de limpieza programadas y ejecutadas de manera periódica.

BIBLIOGRAFÍA

- Alejandra., R. M. (s.f.). "Análisis De Amenaza Por Inundación Para La Localidad De Tunjuelito, Desarrollado A Través De Sistemas De Información Geográfica". Bogota, Colombia.
- Arreguín-Cortés, F. I.-P. (Septiembre-Octubre de 2016). *redalyc*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42801710>
- Ayala, B. B. (2004). *redalyc*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353549829001>
- Basha, E. A. (2008). *Model - Based Monitoring for Early Warning Flood Detection*. SenSys '08 Proceedings of the 6th ACM.
- Basha, E. A. (2008). *Design of Early Warning Flood Detection Systems for Developing Countries*. SenSys '08 Proceedings of the 6th ACM.
- Borja. (Abril de 2004). Procesos de Remocion en mas y reisos asociados en Zacapoaxtla, Puebla. Puebla, Zacapoaxtla, Mexico.
- Castañeda Gutiérrez Carlos Andrés, O. R. (s.f.). "Estudio De Crecientes Y Cálculo De Niveles Máximos En El Río Suaza En El Cruce Sobre La Vía Sustitutiva Pitalito – Garzón –Gigante Del Departamento Del Huila, .
- CEPAL. (14-15 de Abril de 2012). *CEPAL*. Obtenido de <https://www.cepal.org>
- CFGB, C. F. (1994). Les crues de projet des barrages: Methode du Gradex. (pág. 94). Bulletin du comité Francais des Grands Barrages. Francia.
- Chow. (1994). *Hidrologia Aplicada*. Santafe De Bogota, Colombia: Nomos S.A.
- Collado, C. R. (Noviembre de 2010). modelacion hidrológica e hidráulica para la estimacion de caudales maximos Nicaragua, Matagalpa. Nicaragua, Matagalpa, Guatemala.
- Cortes, e. a. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. Mexico.
- Fernandez, e. a. (2011). Analisis de Gestion de Riesgo de Inundacion. Santo Domingo de Heredia, andan, costa rica.
- Fopae., J. (2009). El Estudio Sobre Sistema De Monitoreo Y Alerta Temprana Para Deslizamientos E Inundaciones En Áreas Seleccionadas En El Distrito Capital De Bogotá Y El Municipio De Soacha En La República De Colombia. Bogota, Colombia.
- G. R. (1997). *Las cuencas experimentales como base para el estudio para la erosion y la desertificación*. Ibañes J.J.
- Ward et al, 1977 Dwight E. Ward y Richard Goldsmith, U.S. Geological Survey, y Jaime Cruz B., Luis Jaramillo C., Rodrigo Vargas I., INGEOMINAS.
- Koutsoyiannis, D. K. (1998). A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology* 206, págs. 118-135.

- Lancheros, J. &. (2000). Aplicación del método Gradex en una zona de Cundinamarca. Bogota, Colombia.
- Leonardo, N. (29 de enero de 2007). Manual Básico De Hec-Hms 3.0.0 Y Hec-GeoHms 1.1. España.
- Muñoz., M. &. (2001). Elementos conceptuales generales. En E. Castro M. (coord.) Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa: guía metodológica. Valle del Cauca, Colombia.
- Ollero Ojeda Alfredo, E. (. (1997). "Crecidas E Inundaciones Como Riesgo Hidrológico Un Planteamiento Didáctico Universidad Del País Vasco, Facultad De Filología Y Geografía E Historia Departamento De Geografía, Prehistoria Y Arqueología. España.
- ORDUÑA, F. E. (2007). *Aplicaciones de software SIG: ArcGIS 9.2. Lección 1: Introducción a ArcGIS Desktop*. UNIGIS Girona. 9ª ed. .
- Plate, E. j. (2007). Early Warning And Flood Forecasting For Large Rivers With The Lower Mekong As Example. EE.UU.
- Ramón, C. S. (Noviembre de 2010). Modelación Hidrológico E Hidráulica Para La Estimación De Caudales Máximos En El Área Urbana De Matagalpa, ". Nicaragua: ERIS.
- SÁNCHEZ, F. J. (2013). *universidad de salamanca*. Obtenido de <http://hidrologia.usal.es>.
- Scarlet Cartaya, H. P. (2008). *redalyc*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376140379007>
- Smith, J. ,.-4. (1993). *Handbook of Hydrology, capítulo III, Precipitation*. USA: McGraw-Hill, Inc. primera edición.
- Vélez, M. R. (2002). Verificación del método Gradex en una región Colombiana. La Habana , Cuba.
- Virginia., D. D. (2012). "Análisis Hidrológico E Hidráulico Mediante Técnicas Sig De La Peligrosidad Por Inundaciones En La Cuenca Del Pla De Sant Jordi (Mallorca)". Madrid, España.
- Walling, D. (1991). *Field experiments and measurement programs in geomorphology*. Bakelma Rotterdam: Slaymaker, O.

ANEXOS

Anexo 1: Registro de datos de aforo y lectura de las miras limnometricas en la quebrada La Viuda

REGISTRO DE DATOS DE AFORO Y LECTURA DE LAS MIRAS LIMNOMETRICAS EN LA QUEBRADA LA VIUDA

Estación de Aforo _____ Mes _____ Año _____

LECTURA DE ESCALA EN (M)				CAUDAL (M ³ /S)	OBSERVACIONES
Día	07:00 a. m.	11:00 a. m.	05:00 a. m.		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					

Personal a cargo:

Anexo 2. Invitación por parte de La Institución Educativa Alonso Carvajal Peralta, municipio de Chitagá para la socialización del proyecto

Chitagá, 09 de octubre del 2017

Señor (a):

JESSICA YORELY VILLAMIZAR RODRIGUEZ

Estudiante de la Universidad de Pamplona

Programa de Ingeniería Ambiental

Cordial saludo

La presente es para invitarla hacer parte de la semana cultural de la institución educativa Alonso Carvajal peralta, donde se realizará una serie de conferencias de los proyectos que se están generando en el municipio sobre el medio ambiente y su protección, para nosotros como institución dedicada a la formación académica es muy importante que Ud. de a seneser a los participantes, el proyecto que se encuentra desarrollando en la microcuenca La Viuda, municipio de Chitagá, en donde los estudiantes de 10º, 11º docentes y cuerpo directivo de la institución agradece su grata participación.

Este encuentro se llevará acabo el día 19 de octubre, 2017 en el aula múltiple de la institución sede Departamental, hora 9:00 am. Si su respuesta es positiva, su participación tendrá una duración de 15 minutos.

Quedamos a la espera de que nos confirme su asistencia.

Atentamente,

ROSA SULEY MOGOLLÓN

Docente

Anexo 3. Certificado de socialización del proyecto.

Chitagá, 11 de diciembre del 2017

Señores,

DIRECTORES Y JURADOS DE TRABAJO DE GRADO

Programa Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingenierías Y Arquitectura
Universidad de Pamplona

Cordial saludo

Respetados señores, por medio de la presente **CERTIFICO** que la señorita **JESSICA YORELY VILLAMIZAR RODRIGUEZ**, identificada con cedula de ciudadanía 1.010.089.500 de Chitagá, del programa de ingeniería ambiental, décimo semestre, participó como ponente en las conferencias desarrolladas por la institución educativa Alonso Carvajal peralta con el proyecto titulado: "**ANÁLISIS DE AMENAZA POR CRECIENTES SUBITAS DE LA MICROCUENCA LA VIUDA, MUNICIPIO DE CHITAGÁ, NORTE DE SANTANDER**", el día 10 de octubre del 2017, hora 10:00 am, donde tuvo como participación aproximadamente 60 personas, encontrándose entre ellas personal de la administración municipal, de CORPONOR, estudiantes y docentes de la institución, obteniendo como resultado satisfactorio e interesante, su grata participación.

Atentamente,



ROSA SULEY MOGOLLÓN

Docente

Anexo 4. Secciones transversales, perfiles del tramo y el área de flujo.

