

**Estudio de susceptibilidad a crecientes súbitas de la parte alta del río Pamplonita en la  
zona urbana de Pamplona**

Yasneidy Rivera Hernandez

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Ingeniería Ambiental

23 de junio de 2020

**Estudio de susceptibilidad a crecientes súbitas de la parte alta del río Pamplonita en la  
zona urbana de Pamplona**

Yasneidy Rivera Hernandez

1094280174

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniera  
ambiental

Directores

María Esther Rivera

Phd en Hidrología

Jesús Ramón Delgado Rodríguez

Msc en Geotecnia

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Ingeniería Ambiental

23 de junio de 2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado 1

---

Jurado 2

Pamplona, 23 de junio de 2020

**Dedicatoria**

A Dios porque sin Él nada soy.

A mis padres, Víctor Manuel y Yaquelin que siempre han luchado incansablemente por mi bienestar.

A mis hermanas y sobrino, que han sido apoyo incondicional en mi vida.

## **Agradecimientos**

Al único y sabio Dios, todo mi agradecimiento, porque todo lo que tengo y lo que soy se lo debo a él, por su infinita misericordia que he llegado hasta aquí.

A mi familia que siempre han estado conmigo brindándome su paciencia, confianza y apoyo para alcanzar mis proyectos.

A mis directores del proyecto, María Esther Rivera y Jesús Ramón Delgado por su tiempo, paciencia, apoyo y orientaciones a lo largo del desarrollo de este proyecto.

En general a todos los docentes del Programa Ingeniería Ambiental y la Universidad de Pamplona a lo largo de mi carrera.

A don Gerardo Carvajal por su colaboración en las mediciones de Caudal realizadas con el Correntómetro Global Water FP 111.

Al Servicio Geológico Colombiano y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales por el suministro de información.

A Yesid Monroy, Claudia Peralta, Adriana García, Jose García, Ana Lizarazo, Jefferson Vera por la compañía y apoyo en esta investigación.

## Contenido

|                                                                    | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------|------|
| Dedicatoria .....                                                  | 4    |
| Agradecimientos .....                                              | 5    |
| Resumen.....                                                       | 12   |
| Introducción .....                                                 | 13   |
| 1. Planteamiento Del Problema.....                                 | 15   |
| 2. Justificación .....                                             | 16   |
| 3. Objetivos .....                                                 | 17   |
| 3.1 Objetivo General.....                                          | 17   |
| 3.2 Objetivos Específicos.....                                     | 17   |
| 4. Alcances Y Limitaciones .....                                   | 18   |
| 4.1 Alcances .....                                                 | 18   |
| 4.2 Limitaciones.....                                              | 18   |
| 5. Marco Referencial.....                                          | 19   |
| 5.1 Marco Contextual.....                                          | 19   |
| 5.2 Antecedentes .....                                             | 21   |
| 5.3.1 Crecientes E Inundaciones .....                              | 35   |
| 5.3.2 Factores De Peligrosidad De Las Inundaciones Pluviales ..... | 37   |
| 5.3.3 Mediciones Hidrometeorológicas .....                         | 43   |
| 5.3.4 Susceptibilidad Y Amenaza Por Crecientes Súbita .....        | 47   |
| 5.3.5 Gestión Integrada De Inundaciones (GII).....                 | 51   |
| 5.3.6 Modelación Hidrológica .....                                 | 53   |
| 5.4 Marco Legal. ....                                              | 55   |

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6. Metodología .....                                                                                                           | 60 |
| 6.1 Reconocimiento De La Zona De Estudio Y Diagnóstico De Los Factores ..                                                      | 60 |
| 6.1.1 Reconocimiento De La Zona De Estudio .....                                                                               | 60 |
| 6.1.2 Diagnóstico De Los Factores Incidentes A Crecientes Súbitas En La Parte De<br>Alta De La Cuenca Del Río Pamplonita ..... | 62 |
| 6.2 Caracterización Morfométrica, Geológica, Geomorfológica, Cobertura Vegetal Y<br>Uso Del Suelo Del Área De Estudio .....    | 63 |
| 6.2.1 Caracterización Morfométrica De La Parte Alta Del Río Pamplonita .....                                                   | 63 |
| 6.2.2 Caracterización Geológica Y Geomorfológica De La Parte Alta Del Río<br>Pamplonita .....                                  | 65 |
| 6.2.3 Cobertura Vegetal Y Uso Del Suelo De La Parte Alta Del Río Pamplonita                                                    | 66 |
| 6.3 Levantamiento De Información Hidrométrica En La Zona De Estudio .....                                                      | 67 |
| 6.3.1 Curvas IDF De Pamplona En La Parte Alta Del Río Pamplonita .....                                                         | 67 |
| 6.3.2 Hietogramas Parte Alta Del Río Pamplonita .....                                                                          | 67 |
| 6.3.3 Hidrogramas Parte Alta Del Río Pamplonita .....                                                                          | 68 |
| 6.3.4 Nivel De Agua En La Parte Alta Del Río Pamplonita .....                                                                  | 68 |
| 6.3.5 Levantamiento De Secciones Transversales Y Sedimentos En La Parte Alta<br>Del Río Pamplonita .....                       | 69 |
| 6.4 Levantamiento De Información De Caudales Presentes En La Zona De Estudio<br>.....                                          | 75 |
| 6.5 Identificación De Áreas Susceptibles A Los Eventos De Crecientes Súbitas                                                   | 76 |

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7. Resultados Y Discusión .....                                                                                                                                  | 77  |
| 7.1 Reconocimiento De La Zona De Estudio Y Diagnóstico De Los Factores<br>Incidentes a Crecientes Súbitas en la Parte de Alta de la Cuenca del Río Pamplonita... | 77  |
| 7.1.1 Reconocimiento De La Zona De Estudio .....                                                                                                                 | 77  |
| 7.1.2 Diagnóstico De Los Factores Incidentes A Crecientes Súbitas En La Parte De<br>Alta De La Cuenca Del Río Pamplonita.....                                    | 79  |
| 7.2 Caracterización Morfométrica, Geológica, Geomorfológica, Cobertura Vegetal Y<br>Uso Del Suelo Del Área De Estudio.....                                       | 88  |
| 7.2.1 Caracterización Morfométrica De La Parte Alta Del Río Pamplonita .....                                                                                     | 88  |
| 7.2.2 Caracterización Geológica Y Geomorfológica De La Parte Alta Del Río<br>Pamplonita .....                                                                    | 91  |
| 7.2.3 Cobertura Vegetal Y Uso Del Suelo De La Parte Alta Del Río Pamplonita                                                                                      | 95  |
| 7.3 Levantamiento De Información Hidrométrica En La Zona De Estudio .....                                                                                        | 98  |
| 7.3.1 Curvas Idf Pamplona.....                                                                                                                                   | 98  |
| 7.3.2 Hietogramas Parte Alta Del Río Pamplonita .....                                                                                                            | 99  |
| 7.3.3 Hidrogramas Parte Alta Del Río Pamplonita (Casco Urbano) .....                                                                                             | 100 |
| 7.3.4 Nivel De Agua En La Parte Alta Del Río Pamplonita.....                                                                                                     | 103 |
| 7.3.5 Levantamiento De Secciones Transversales Y Sedimentos .....                                                                                                | 107 |
| 7.4 Información De Caudales En La Zona De Estudio.....                                                                                                           | 116 |
| 7.5 Identificación de Áreas Susceptibles a los Eventos de Crecientes Súbitas                                                                                     | 117 |
| Conclusiones .....                                                                                                                                               | 121 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| Recomendaciones ..... | 123 |
| Referencias.....      | 124 |
| Apéndices.....        | 134 |

**Lista de Tablas**

|                                                                                       | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1 Área de Cada Microcuenca de la Zona De Estudio .....                          | 20   |
| Tabla 2 Descriptores de la Vulnerabilidad Prevalciente .....                          | 49   |
| Tabla 3 Parámetros Morfométricos de la Parte Alta de la Cuenca del Río Pamplonita ... | 64   |
| Tabla 4 Características Morfométricas de la Parte Altad del Río Pamplonita .....      | 88   |
| Tabla 5 Rugosidad de Manning en el Tramo de Estudio del Río Pamplonita.....           | 108  |
| Tabla 6 Caudales Medidos en Campo de la Zona de Estudio.....                          | 116  |

## Apéndices

Pág.

|                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Apéndice A Encuesta del diagnóstico de los factores incidentes a crecientes súbitas en el área de estudio.....                                       | 134 |
| Apéndice B Encuesta del diagnóstico de los factores incidentes a crecientes súbitas en el área de estudio aplicada a los habitantes de la misma..... | 136 |
| Apéndice C Datos de Granulometría de Muestreo de Sedimentos.....                                                                                     | 137 |

## Resumen

El estudio sobre crecientes súbitas es de gran importancia teniendo en cuenta que actualmente las condiciones climáticas presentan cambios drásticos que son consecuencia de múltiples actividades humanas, el crecimiento poblacional. Además, de presentarse asentamientos en la ronda de los cauces y planicies de inundación. Por lo anterior, en esta investigación se estudió la susceptibilidad a crecientes súbitas en la parte alta del Río Pamplonita mediante la caracterización morfométrica, geológica, geomorfológica, uso del suelo y cobertura vegetal, mediciones en campo de niveles de agua del río, sedimentos y caudales; para ello, se levantaron secciones transversales, se instalaron miras limnigráficas bajo los criterios de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los datos hidrometeorológicos de la estación ISER Pamplona (1988- 2019) fueron suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). A partir de estos se obtuvieron los hietogramas e hidrogramas sintéticos. Por último, se modeló el comportamiento del flujo en Hec-Ras v. 5.0.1 y ArcGis versión 10.4 - Hec-GeoRAS. Se determinó que el factor climático es la causa más significativa en las crecientes en la zona, provocando daños a puentes y vías. Las características físicas morfométricas de la cuenca como la forma, patrón de drenaje y pendiente indican que la zona de estudio presenta respuesta hidrológica moderada dando lugar a crecientes, la pendiente predominante es menor al 25, no obstante, se tienen pendientes entre 44.1-66% en algunos sectores. De igual manera, en su geología y geomorfología se evidenciaron las formaciones Girón, Tibú-Mercedes y Aguardiente. Las áreas de mayor susceptibilidad a crecientes súbitas fueron el tramo aguas abajo del puente del Distrito Militar, Tramo La Plazuela Almeida y aguas abajo del puente del Terminal hacia el margen derecho siendo considerables para los periodos de retorno 50,100 y 500 años.

**Palabras Claves:** Área De Inundación, Caudal, Curva Idf, Precipitación, Sección Transversal.

## Introducción

En los últimos años, Colombia se ha visto afectado por fuertes precipitaciones que han ocasionado inundaciones, derrumbes y deslizamientos en zonas como Antioquia, Eje Cafetero, Choco, Cauca, Caquetá, Santanderes y la región Orinoquia han sido afectados por incrementos del Nivel del agua del río, presencia de crecientes, desbordamientos e inundaciones; presentándose el mayor registro de la historia.

Según el Sistema Integrado de Información (2018) la zona Nororiental de Colombia se ha visto afectado por las crecientes, como es el caso de Santander en el año 2018 estuvo en alerta roja debido a la probabilidad de crecientes súbitas en más de 10 ríos entre ellos Lebrija, Fonce, Suarez y Tona; producto de lluvias intensas que desencadenaron algunas emergencias. Así mismo, en Norte de Santander se mantuvo la alerta amarilla durante los meses de Marzo y Abril por crecientes en los ríos Zulia, Táchira y Pamplonita debido a las fuertes precipitaciones que dieron lugar a deslizamientos en sectores muy inestables o de alta pendiente, por ejemplo, en el tramo de La Soberanía perteneciente al sector rural del municipio de Toledo debido al desprendimiento que dejó incomunicado el departamento Arauca como consecuencia de la creciente súbita del río Cáraba (El Tiempo,2019).

La presente investigación se refiere a la susceptibilidad de las crecientes súbitas, se define como crecientes de corta duración con caudales máximos, cuya principal característica es el aumento del nivel en la lámina de agua en un tiempo corto y por lo tanto, el efecto destructivo es mayor; estas se presentan en cuencas de alta pendiente. Al abordar esta temática es necesario mencionar sus causas; una de ellas es la presencia de fuertes precipitaciones que están relacionadas con otros factores como la geomorfología, la actividad antrópica, entre otros. Es relevante mencionar que el crecimiento poblacional ha generado asentamiento de comunidades

en la ronda de los ríos, provocando el aumento de actividades económicas ocasionando cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo. Además, la variabilidad climática ha desencadenado fuertes precipitaciones de corta duración en los últimos años, afectando la población por eventos atípicos que han llegado a generar crecientes. Por lo anterior, se hace necesario realizar esta investigación que permita entender el comportamiento de este fenómeno.

Para ello, se estudiarán las causas de las crecientes a través del diagnóstico de los factores incidentes como la caracterización morfométrica, geológica, geomorfológica, cobertura vegetal y uso del suelo, el levantamiento de secciones transversales, medición de caudal, registro de nivel del agua, entre otros; dando como resultado principal el mapa de las áreas susceptibles a estos eventos.

## 1. Planteamiento Del Problema

Según la base de datos de DesInventar (Corporación OSSO y EAFIT, 2011) debido a que las inundaciones son los eventos más frecuentes en la mayoría de los departamentos de Colombia los registros históricos de pérdidas que predominan son causados por estos eventos con un porcentaje del 73%. Por otra parte, el IDEAM (2018) en el Estudio Nacional del Agua determinó que en Colombia aproximadamente el 17% del área continental favorecen las inundaciones. Además, identificó que en el país se viene presentando una transformación antrópica de las Zonas Potencialmente Inundables (ZPI).

Particularmente en la parte alta del río Pamplonita se han presentado eventos de crecientes súbitas que han puesto en peligro los habitantes, bienes e infraestructura de la zona de estudio. Por ejemplo, la creciente de la Quebrada Brighton ocurrida el 6 de octubre de 2010 fue ocasionada por un evento de lluvia extremo, la cual incrementó el nivel del agua de la quebrada, provocando el desbordamiento de la misma. El 22 de abril de 2011 se presentó una creciente en la quebrada Navarro producto de su represamiento, la cual afectó el puente peatonal ubicado frente a la sede La Aurora de la Institución Normal Superior. Por último, el 15 de noviembre del 2017 se presentó la temporada de eventos extremos de lluvia desencadenando una creciente en la quebrada Monteadentro que generó arrastre de sedimentos dando lugar a la suspensión del servicio de la planta de tratamiento de agua potable de los Tanques (PTAP) durante varias horas.

Para lo anterior, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el grado de susceptibilidad a crecientes súbitas de la parte alta de la cuenca del Río Pamplonita exactamente en el casco urbano de Pamplona? Además, fue necesario conocer ¿Cuáles son las principales causas y factores de estas crecientes?

## 2. Justificación

La parte alta del río Pamplonita es de gran importancia pues brinda abastecimiento para las actividades domésticas y productivas diarias de varios municipios de Norte de Santander

La parte alta del río Pamplonita está ubicada en un área de alta montaña afectada en múltiples ocasiones por crecientes súbitas, provocando daños a infraestructuras y al sector productivo en la cual afortunadamente no se han presentado pérdidas humanas.

Por lo anterior, surgió la necesidad de desarrollar la presente investigación para conocer en área ambiental las principales causas de las crecientes súbitas, las áreas de afectación por la susceptibilidad a estos eventos y de esta manera recuperar las áreas que le pertenecen a la ronda del Río Pamplonita en la parte alta. Debido a que la información existente es limitada, se pretende que esta investigación sea una herramienta útil para CORPONOR, la Unidad de Gestión del Riesgo y Desastres(UNGRD), comités de Prevención y Atención de Desastres, oficina de Planeación y Alcaldía municipal; para que a partir de esta en el área social, se desarrollen estrategias y planes de gestión del riesgo ante los eventos de crecientes súbitas, y de acuerdo a la información obtenida, las entidades competentes podrán establecer actividades o programas que concienticen la comunidad del riesgo y peligro al que se encuentran expuestos. Además, en el área económica resulta muy útil, debido a que las inundaciones pueden llegar a causar desastres significativos en varios puntos de la infraestructura; con esta investigación se podrán plantear obras de control de erosión para las áreas más susceptibles a inundación y así evitar inversiones considerables en la reconstrucción de las obras degradadas.

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo General

Realizar un estudio de susceptibilidad a crecientes súbitas en la parte alta del Río Pamplonita del municipio de Pamplona.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el diagnóstico de los factores incidentes a crecientes súbitas en el área de estudio.
- Determinar la caracterización morfométrica, geológica, geomorfológica, cobertura vegetal y uso del suelo del área de estudio.
- Levantar información hidrométrica en la zona de estudio.
- Analizar estadísticamente el comportamiento de las precipitaciones registradas en la estación ISER Pamplona.
- Identificar las áreas susceptibles a los eventos de crecientes súbitas de la parte alta del río Pamplonita en el área urbana de Pamplona.

## **4. Alcances Y Limitaciones**

### **4.1 Alcances**

El Estudio de susceptibilidad a crecientes súbitas de la parte Alta del Río Pamplonita se realizó hasta la Zona Urbana de Pamplona, es decir; hasta el puente ubicado en el Barrio Chichira, para ello se desarrolló la modelación y simulación del comportamiento hidrológico del cauce principal y afluentes de la zona de estudio, estableciendo las áreas con su respectivo grado de susceptibilidad a eventos de crecientes súbitas; a través, de la caracterización morfométrica, hidrométrica, geológica, geomorfológica, cobertura vegetal y uso del suelo de la zona de estudio.

### **4.2 Limitaciones**

En el desarrollo del proyecto se presentaron algunas limitaciones como: el acceso a las partes altas de cada uno de los afluentes principales debido a que la cobertura vegetal era bastante densa y la pendiente abrupta del terreno.

No se cuenta con una base de datos sobre caudales del río Pamplonita y sus principales afluentes de la zona de estudio para realizar un análisis del comportamiento a través de metodologías estadísticas.

No se accedió a los planos de la canalización del río Pamplonita, quebradas Brighthon y El Buque que serían de bastante ayuda para la simulación del comportamiento hidrológico en la zona de estudio.

## 5. Marco Referencial

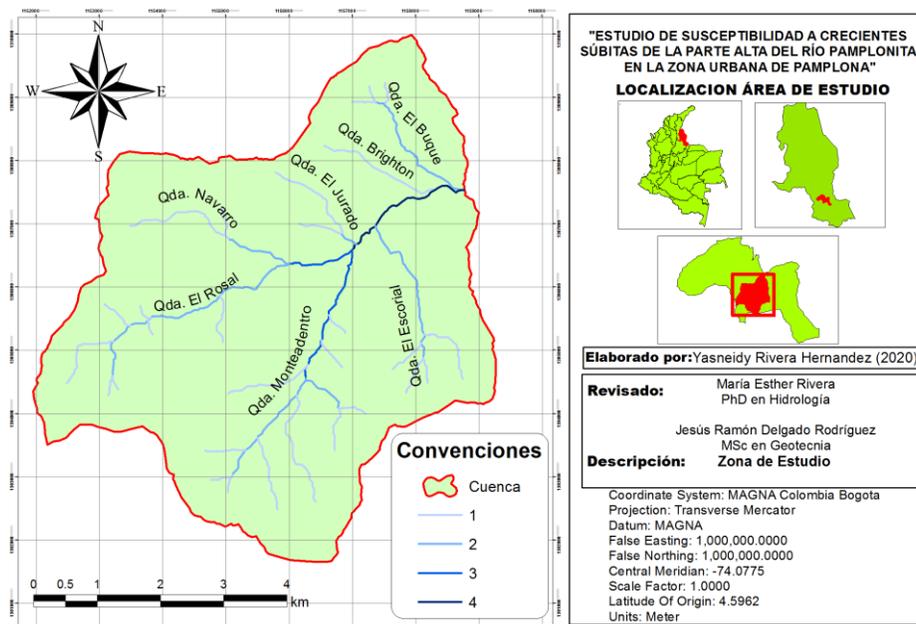
### 5.1 Marco Contextual

Pamplona está ubicada a una altura de 2.300 msnm y su temperatura promedio es de 15,4°C, sobre la cordillera Oriental de Colombia, situado en el Departamento Norte de Santander. Su localización geográfica hacia el suroccidente del departamento es de 07° 22' 41" de latitud Norte y 72° 39' 09" de longitud Oeste. Además, limita al norte con los municipios de Cucutilla y Pamplonita, al Oriente con Labateca, al Occidente con el municipio de Cucutilla y al Sur con los municipios de Mutiscua y Cacota (PBOT, 2015).

La zona de estudio tiene una superficie de 35.89 km<sup>2</sup> y la longitud del río Pamplonita del tramo en estudio es de 2.57 km. Además, se cuenta con afluentes como Monteadentro, Rosal, Navarro, Jurado, Escorial, Brighton y El Buque; como se muestra a continuación en la Figura 1 y sus respectivas tablas se observan en la Tabla 1.

*Figura 1*

#### *Localización Área de Estudio*



Fuente. Elaborado en ArcGis por Rivera H (2020)

**Tabla 1**

*Área de cada microcuenca de la zona de estudio*

| <b>Microcuenca</b> | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> |
|--------------------|------------------------------|
| Monte dentro       | 10.49                        |
| El Rosal           | 8.04                         |
| Navarro            | 4.17                         |
| El Escorial        | 4.16                         |
| El Jurado          | 1.49                         |
| Brighthon          | 0.98                         |
| El Buque           | 3.64                         |

Fuente. Elaborado en ArcGis por Rivera H (2020)

Las vías de acceso de la zona de estudio son hacia el sur con la quebrada Monte dentro donde su parte baja se encuentra en el casco urbano y se accede a ella por la vía de los Tanques hacia la Escuela Cariongo, y en la parte media por trocha. Sin embargo, en la parte alta se ingresa por caminos. Por otra parte, para las quebradas Rosal y Navarro se toma la vía al Barrio el Zulia, más arriba está la trocha hacia la Vereda Rosal, aunque, para llegar a ciertos puntos es necesario de caminos y potreros aledaños, no obstante, hay puntos de difícil acceso tanto por la cobertura y pendiente del terreno.

En el caso de la quebrada Escorial se accede en su parte alta mediante trocha por el Sector Barrios unidos y su parte baja se encuentra dentro del área Urbana de Pamplona.

La quebrada Jurado cuenta con dos vías de acceso; a través de la parte alta del Barrio la Cruz y la otra detrás de la cárcel.

Para acceder a la quebrada Brighton se ingresa por el colegio Bethlemitas Brighton Pamplona. La quebrada El Buque tiene dos puntos de acceso, el barrio el Contenido y la vía Nacional frente a la estación de gasolina el Buque.

Al tramo en estudio del río Pamplonita se accede a través de la avenida Santander y la vía nacional pues están ubicadas junto al canal.

## **5.2 Antecedentes**

A nivel internacional, nacional, regional y local se han desarrollado estudios relacionados a la temática de la presente investigación, a continuación, se mencionan algunos:

Matías, et al., (2007) desarrollaron el Análisis de las principales causas de las inundaciones de septiembre de 2003 en el sur del estado de Guanajuato, México, cuyo objetivo fue identificar los sistemas de tiempo que por la continuidad y persistencia produjeron lluvias extraordinarias. Para ello se utilizaron los datos de precipitación diaria y mapas sinópticos de los fenómenos meteorológicos ocurridos durante el mes de septiembre de 2003, se elaboró un mapa que muestra la distribución de la lluvia para el día de la tormenta más intensa y otro para el acumulado, se construyeron hidrogramas, se identificaron las zonas susceptibles a inundación, finalmente se conoció la frecuencia y distribución espacial de las inundaciones por municipio.

Pittaluga, et al., (2009) llevaron a cabo el estudio sobre la Susceptibilidad a las inundaciones por crecientes estivales y por desbordes en las localidades de Villa Nueva, Puchuzum y Villa Corral, cuenca del Río Castaño, Calingasta, San Juan, Argentina con el objetivo de conocer la dinámica hídrica en la cuenca de estudio. Se obtuvo como resultados el mapa de susceptibilidad a los diferentes tipos de amenazas como aluviones estivales e inundaciones por altos caudales del río Castaño, también de acuerdo a los datos climáticos e hidrológicos anuales permitieron prever y prevenir varias de las consecuencias.

Sánchez, et al., (2012) realizaron el estudio de Inundaciones pluviales en una cuenca urbana aplicando el método de ponderación mixta, el objetivo de este trabajo fue estimar la peligrosidad pluvial a través de un índice cuantitativo distribuido espacialmente y calculado a partir de análisis multicriterio y de la ponderación de diversos factores que permitan una evaluación objetiva de la cuenca urbana mediante la comparación entre áreas críticas y la valoración de escenarios sobre la misma región. Se llevó a cabo mediante la Formulación del Indicador de peligrosidad asociada al flujo en calles que depende de tres factores, la profundidad del flujo o lámina de agua en la calle, la velocidad y la duración de la inundación.

Rojas, et al., (2014) hicieron una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos con el propósito de analizar, explicar y sistematizar mediante una revisión bibliográfica, causas o factores detonantes, periodos de recurrencia, distribución y efectos geográficos de las inundaciones fluviales acaecidas en Chile continental en el periodo 1574-2012.

Por otra parte, Tapia, et al., (2015) ejecutaron un estudio sobre Obras de protección para evitar inundaciones en Misantla, México, cuyo objetivo fue proponer de obras de protección para evitar inundaciones hacia la zona urbana partiendo de diferentes estudios hidrológicos, topográficos y geotécnicos, dando como resultado dos propuestas para la construcción de obras de protección en el cauce.

Wahid, et al., (2016) realizaron el trabajo “Geospatial Analysis for the Determination of Hydro-Morphological Characteristics and Assessment of Flash Flood Potentiality in Arid Coastal Plains: A Case in Southwestern Sinai, Egypt” “Análisis geoespacial para la determinación de las características hidromorfológicas y la evaluación de la potencialidad de las inundaciones repentinas en las planicies costeras áridas: un caso en el suroeste del Sinaí, Egipto”. El objetivo

fue modelar espacialmente la cantidad de escorrentía y la densidad relacionada con el desarrollo de crecidas repentinas y crear un mapa de riesgo de inundación repentina de la llanura. Se determinó que el área más expuesta a las inundaciones repentinas es donde la pendiente es muy pronunciada, los suelos son impermeables y el agua inundada puede expulsar los sedimentos y las rocas a través de las corrientes de drenaje.

Rodríguez (2017) hizo el Análisis de susceptibilidad por crecidas torrenciales, basado en herramientas SIG, cuya finalidad fue analizar la susceptibilidad por crecidas torrenciales del afluente hídrico El Guayabal municipio Antonio Pinto Salinas, Mérida-Venezuela. Se determinó que la evaluación multicriterio para la susceptibilidad a crecientes torrenciales y su clara justificación con las variables tomadas en consideración como condicionantes, permite tener una visión aproximada de la realidad de la zona de estudio; pero, se debe resaltar que fue necesario constatar los resultados de la metodología con los parámetros morfométricos de la microcuenca.

Por otra parte, Hernández, et al., (2017) hicieron el Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. La finalidad de este análisis fue desarrollar y aplicar una metodología de análisis de riesgo por inundaciones en una cuenca urbanizada. En este se aplicaron dos modelos que son complementarios: el determinista y el paramétrico. El modelo determinista permitió generar mapas de riesgo que mostraba posibles daños asociados con las inundaciones por zonas y por periodo de retorno; el modelo paramétrico conceptualizó la vulnerabilidad en los aspectos social, económico, físico y ambiental, resolviendo la complejidad de los factores que la definen.

Acosta (2017) realizó la investigación de Aplicación del modelo Soil Water Assessment Tool (swat) para estimar la producción y transporte de sedimentos en la quebrada La María, San Jose del Guaviare. Se determinó que las variables más significativas dentro del proceso de la

modelación de la microcuenca se atribuyen a las actividades antrópicas (actividades agropecuarias principalmente) y a los procesos de escorrentía, caudal base y evaporación del suelo. Además, los resultados de carga de sedimentos obtenidos por el modelo dependen exclusivamente de los mecanismos de erosión y transporte dominantes para la microcuenca estudiada.

Acharya, et al., (2018) desarrollaron el estudio “When the river talks to its people: Local knowledge-based floodforecasting in Gandak River basin, India” o Cuando el río habla con su gente: pronóstico local de inundaciones basado en el conocimiento en la cuenca del río Gandak, India. Este estudio buscaba examinar la construcción con perspectiva de género del conocimiento de pronóstico local de inundaciones de las comunidades rurales de la India que viven en la cuenca del río Gandak. Allí, se determinó que es importante reconocer este sistema y la inundación a nivel local para ello los planes de gestión deben modificarse para incluir compromisos locales de intercambio de conocimientos.

Un trabajo importante fue el realizado por Santos, et al., (2018) cuyo título fue “Floods and social vulnerability: Study on the Xingu River in Altamira / PA” “Inundaciones y vulnerabilidad social: estudio sobre el río xingu en Altamira / PA”. El objetivo de esta investigación fue la clasificación social en Altamira-PA, la emergencia de las inundaciones y el escenario futuro de la estabilización del nivel de agua en la cuota de inundaciones. En este, el Índice de Vulnerabilidad Social se determinó utilizando los datos de la estación fluviométrica proporcionados por ANA y las variables socioeconómicas de IBGE arrojando como resultado que la vulnerabilidad esta de moderada a baja.

Rosal, et al., (2019) desarrollaron el proyecto “Beyond flood probability assessment: An integrated approach for characterizing extreme water levels along transitional environments” es

decir, “Más allá de la evaluación de las probabilidades de inundación: un enfoque integrado para caracterización de los niveles extremos de agua a lo largo de entornos de transición” con el fin de caracterizar la variabilidad espaciotemporal de la ETWLe y evaluar la probabilidad de inundación. La metodología se basó en: la resolución de la hidrodinámica del estuario, la instalación estadística de los diferentes componentes de la elevación, el análisis de las relaciones de simultaneidad, compatibilidad entre los componentes del nivel del agua y la evaluación de la probabilidad de sucesos extremos del nivel total del agua. Se concluye que estos mapas pueden ser utilizados para la toma de decisiones basada en el análisis de riesgos, identificar áreas vulnerables, cuantificar la frecuencia de las inundaciones e identificar los agentes responsables de las inundaciones en cada área.

Wanga, et al., (2019) realizaron “Flood susceptibility mapping in Dingnan County (China) using adaptive neuro-fuzzy inference system with biogeography based optimization and imperialistic competitive algorithm” en español, “Cartografía de susceptibilidad a inundaciones en el Condado de Dingnan (China) utilizando un sistema de inferencia neuro-difusa adaptable con optimización basada en la biogeografía y algoritmo competitivo imperialista”. Los mapas de susceptibilidad a inundaciones obtenidos por tres métodos fueron evaluados utilizando la curva ROC y AUC. Allí se integró SWARA, ANFIS y dos métodos metaheurísticos para resolver el problema no lineal de FSM. Estos métodos pueden utilizarse como técnicas prometedoras para la gestión y mitigación de las inundaciones.

Adnan, et al., (2019) llevaron a cabo “Have coastal embankments reduced flooding in Bangladesh?”, en español, ¿Han reducido las inundaciones costeras en Bangladesh? Allí se instalaron pólderes mediante la construcción de terraplenes que han permitido grandes aumentos en la producción agrícola y redujo los impactos de tormentas y fluvio- inundaciones. Sin

embargo, el bloqueo de la llanura de inundación costera de los canales prácticamente eliminó la deposición anual de sedimentos en la tierra, mientras que la compactación de los sedimentos y las actividades antropógenas exacerbó el hundimiento de la tierra. Pero, se obtuvo que los pólderes han proporcionado protección contra fluvio-mareas y tormentas. En la peor inundación fluvio-mareal en el escenario ‘sin polder’ 79% de la zona se habría inundado, en comparación con 27% que ocurrió con los polders.

Kron, et al., (2019) realizaron el estudio “Reduction of flood risk in Europe – Reflections from a reinsurance perspective” o “Reducción del riesgo de inundación en Europa - Reflexiones desde una perspectiva de reaseguro”. Para ello se analizó la taxonomía de las inundaciones, las estadísticas de las inundaciones en Europa. Además, las razones del aumento del riesgo de inundación, el cambio de suelo-uso y cubierta terrestre, el aumento de los valores expuestos y el potencial de pérdida, el cambio en la percepción pública, el cambio de comportamiento, el cambio climático y las medidas de control de inundaciones. La reducción del riesgo, en el espíritu de la Directiva sobre inundaciones de la UE, implica esfuerzos dedicados a reducir cada uno de los tres componentes de riesgo: peligro, exposición y vulnerabilidad. Los cambios en los peligros (naturales y antropógenos) pueden ser difíciles y costosos de reducir.

Gangrade, et al., (2019) desarrollaron “Ensemble-based flood vulnerability assessment for probable maximum flood in a changing environment” o “Evaluación de vulnerabilidad de inundación basada en conjuntos para una inundación máxima probable en un entorno cambiante”. Uno de los principales objetivos fue cuantificar los posibles efectos del cambio ambiental en las zonas de inundación de las PMF. Los resultados indican que es probable que la descarga máxima del hidrograma PMF aumente significativamente en la región de la cuenca de Etowah en un clima cambiante. Esta evaluación no sólo determina las regiones con riesgo de

inundación, sino que también informa a los interesados acerca de la probabilidad de inundación para permitir decisiones informadas.

Rezende, et al., (2019) realizaron “A framework to introduce urban flood resilience into the design of flood control alternatives” o “Un marco para introducir la resistencia urbana a las inundaciones en el diseño de alternativas de control de inundaciones”. Allí se determinó que la aplicación del Índice de Resiliencia a Inundaciones Urbanas - UFRI permite demostrar los resultados distribuidos espacialmente obtenidos por diferentes enfoques, facilitar la evaluación de múltiples escenarios de intervención y proporcionar una base comparativa para una fácil presentación y comprensión, esencial para un proceso de toma de decisiones claro y eficiente.

Por otra parte, Gander, et al., (2019) ejecutaron “Forecasting upper and lower uncertainty bands of river flood discharges with high predictive skill” o Pronóstico de las bandas de incertidumbre superior e inferior de las descargas de inundaciones fluviales con alta habilidad predictiva. Este trabajo comparó tres métodos alternativos para la previsión de inundaciones inciertas con dos métodos de cuantificación de incertidumbres existentes evaluando la calidad de los métodos; estos son: una Estimación Generalizada de la Incertidumbre en la Probabilidad, denominada "Ensemble" y un único modelo de método probabilístico de previsión, denominado "error relativo".

Barajas, et al., (2018) hicieron el estudio “Building urban resilience and knowledge co-production in the face of weather hazards: flash floods in the Monterrey Metropolitan Area (Mexico)”, en español, “Fomento de la resiliencia urbana y la coproducción de conocimientos ante las amenazas climáticas: inundaciones repentinas en el Área Metropolitana de Monterrey (México)”. Los daños y perjuicios causados por las tormentas de MMA muestra que más que los

"desastres naturales", son las consecuencias de una prevención inadecuada, una mala planificación del uso de la tierra y una resiliencia insuficiente.

Jahangir, et al., (2019) llevaron a cabo la investigación "Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Basin, Iran, using artificial neural network algorithm", en español, Predicción espacial del mapeo de zonas de inundación en la cuenca del río Kan, Irán, utilizando un algoritmo de red neuronal artificial. El objetivo de la misma fue utilizar las funciones de análisis espacial del SIG, datos de estaciones hidrométricas y pluviométricas, imágenes satelitales y varias capas de datos temáticos en forma de algoritmos de redes neuronales artificiales. La unión del análisis espacial GIS y el algoritmo de red neuronal es de gran eficacia para predecir el riesgo de ocurrencia de desastres naturales como las inundaciones.

En Colombia, Hortua (2004) desarrolló el estudio de la Geomorfología e Hidrología, combinación estratégica para el estudio de las inundaciones en Florencia (Caquetá) que buscaba determinar las zonas de susceptibilidad y amenaza por inundación en el casco urbano de la zona de estudio. La amenaza se determinó por la frecuencia en el período de retorno y no en el volumen de caudal, también se midieron los perfiles transversales para espacializar el nivel de inundación que alcanzarían los caudales para cada período de retorno. La geomorfología facilitó clasificar los niveles de terraza en susceptibilidades mediante la correlación de eventos hidrológicos extremos y la morfología del terreno. Por tanto, a partir del mapa geomorfológico se definió el grado de susceptibilidad a la ocurrencia del fenómeno de inundación.

Así pues, Montoya, et al., (2009) llevaron a cabo la Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Caso de aplicación a la quebrada Doña María. Esto fue mediante la ponderación de diferentes factores como la topografía, la pendiente, la distancia a los cauces, el flujo acumulado, la geología y la geomorfología y el

índice de Melton para la microcuenca y así se determinaron las zonas de amenaza a avenidas torrenciales.

Múnera, et al., (2013) hicieron la Zonificación de amenazas por inundaciones a escala 1:2.000 y 1:5.000 en áreas urbanas para diez municipios del territorio colombiano. La determinación de los mapas de amenaza por inundación, estuvo en función de la velocidad y profundidad del flujo. Con los mapas obtenidos de amenaza se encontraron las zonas de cada municipio que tienen la probabilidad alta de presentar afectaciones graves en los eventos de creciente, y los cuales son consideradas zonas no aptas para presentar algún tipo de asentamiento.

Un estudio importante fue el que realizó González, et al., (2014) cuyo título fue La gestión del riesgo de desastres en las inundaciones de Colombia: una Mirada Crítica, esto con el objeto de hacer una caracterización del escenario de inundaciones en el marco del cambio de paradigma en la Gestión del Riesgo de Desastres que desde abril del año 2012 prescribe la Ley 1523 de 2012 para Colombia. Allí se afirma que las inundaciones son producto de la construcción social que se da ante la incapacidad de adaptación que tienen las comunidades ante su entorno.

Castañeda, et al., (2014) ejecutaron el 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. Se determinó que el promedio anual de caudales medios en la estación Limnigráfica Puente Garcés, es parecido al obtenido con la metodología utilizada con el software HEC HMS, lo que indicaba un nivel alto de confianza para los periodos de retorno superiores estableciendo más preciso el caudal de la cota de desborde de la sección en el punto de Cruce de la vía sustitutiva Pitalito – Garzón – Gigante.

Barrios, et al., (2014) realizaron la Modelación de pronósticos hidrológicos para niveles de agua en tiempo real para el río San Jorge, con fines de gestión del riesgo por inundaciones en el municipio de Ayapel, Córdoba. En este se concluye que a pesar de que existen modelos más elaborados, hay una condicionante y es que requieren una mayor cantidad de información; aunque hay modelos que requieren poca información y son confiables y eficientes, arrojando resultados satisfactorios como el modelo basado en la ecuación diferencial determinista que se aplicó.

Padilla, et al., (2015) hicieron el estudio Desarrollo de una metodología para el estudio de las inundaciones causadas por encharcamiento de agua de lluvia en zonas urbanas relativamente planas. Área de estudio: Montería (Colombia). Este buscaba desarrollar una metodología para el análisis de las precipitaciones como factor importante en la ocurrencia de inundaciones. Esto fue mediante la relación estadística entre la capacidad de infiltración de agua por el suelo y la cantidad de lluvia precipitada sobre él, que permitió estimar los excesos de agua que generan esta clase de inundaciones en el área urbana de la ciudad de Montería.

Así pues, Alarcón, et al., (2016) realizaron la Evaluación de susceptibilidad por inundación de la cuenca alta del Río Putumayo – Valle de Sibundoy a partir de la utilización de herramientas SIG con el fin de aportar información para la prevención y gestión del riesgo de los municipios que hacen parte del Valle de Sibundoy, se identificaron las áreas de cada uno de los municipios que presentan mayor posibilidad de inundación en el momento de la ocurrencia de este fenómeno natural, o mapas de susceptibilidad obteniendo el mapa de inundación, red hídrica, dirección de flujo, mapa de pendientes. Además, se obtuvo un mapa de inundabilidad y que permitió visualizar las zonas inundables de acuerdo a la geomorfología del terreno.

Camargo (2016) ejecuto el proyecto Implementación de modelación hidráulica con fines de pronóstico hidrológico. El objetivo fue modelar los aspectos hidrológicos e hidráulicos de los eventos de inundación en el río Bogotá en el sector comprendido entre los municipios Tocancipá y Chía, en el año 2011. Se evidenció los meses de posibles inundaciones, la longitud del río desbordable y se identificaron las zonas que son afectadas por estos eventos en el río Bogotá.

Huertas (2016) hizo la Evaluación de la vulnerabilidad y amenaza de los sistemas hídricos naturales en el marco de la evaluación regional del agua para la cuenca del Rio Sumapaz, Jurisdicción CAR, evaluando las amenazas y vulnerabilidades asociadas al estado, dinámica y tendencias del sistema hídrico natural en la Cuenca.

Más adelante, Morales (2017) desarrollaron una Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad por crecientes del Río Acacitas en el área urbana del municipio de Acacias- Meta, cuyo fin fue evaluar la amenaza y vulnerabilidad ocasionada por las crecientes del Rio mediante un modelo hidráulico. Se determinó la vulnerabilidad física, económica, social y ambiental, asimismo los caudales con el método racional para diferentes periodos de retorno. También se plasmó el modelo hidráulico del Río por medio del software Hec-Ras con los caudales obtenidos para realizar el mapa de amenaza debido a las inundaciones del mismo en el software ArcGis, en donde se apreció que los habitantes del municipio se ven ampliamente afectados por este fenómeno natural, ya que si a futuro se presenta un evento de esta índole la mayoría de los predios se verían afectados por la creciente del rio.

Quintero, et al., (2017) realizaron el estudio Sistema de Información para Detección de Crecientes Súbitas en la Cuenca del Río Manzanares en Santa Marta, Colombia; cuyo objetivo fue desarrollar un sistema de información que reciba los datos provenientes de tres tipos de sensores instalados en la cuenca del río Manzanares para monitorear la humedad del suelo,

precipitación y nivel de agua. En este estudio se abordó el tema de multi-tenencia haciendo énfasis en las utilidades al utilizar una capa de presentación basada en Java server pages. Adicionalmente, se utilizó la mensajería push para alertar en tiempo real a las entidades responsables de la gestión del riesgo sin la necesidad de que este tipo de organismos estén presentes en un centro de monitoreo.

Pérez, et al., (2018) desarrollaron la Modelación Hidráulica 2D de Inundaciones en Regiones con Escasez de Datos. El Caso del Delta del Río Ranchería, Riohacha-Colombia, con la finalidad de resolver la escasez de datos topográficos e hidrométricos para la modelación 2D de inundaciones mediante la entrada de datos topográficos, diseño del cauce y llanura de inundación, generación del MDT preliminar y parametrización del software IBER 2D y obtención del MDT. Esta metodología es una opción accesible y viable de soporte a la modelación de inundaciones 2D en regiones donde la información topográfica de partida es una limitante.

Un estudio importante fue realizado por Dudei, et al., (2018) cuyo título fue Análisis de la susceptibilidad por inundaciones asociadas a la dinámica fluvial del río Guatiquía en la ciudad de Villavicencio, Colombia. Este estudio y su metodología podrían ser incorporados como fase preliminar en la planeación regional de áreas urbanas, en la definición de áreas de expansión, para evitar incurrir en gastos importantes que, debido a la dinámica del río, pierden relevancia en cada periodo de lluvias.

A nivel regional, Obregón (2007) realizaron la Evaluación de la amenaza por inundación en el corregimiento La Trinidad, Norte de Santander, con el objetivo de contribuir al estudio hidrológico e hidráulico del fenómeno de inundación que se presenta en la zona de estudio. La metodología se desarrolló bajo cuatro etapas: la primera el levantamiento de información

secundaria, posteriormente el diagnóstico por medio de visitas a campo también el levantamiento topográfico, las batimetrías de los cauces, información por parte de la comunidad; la tercera etapa correspondió a la modelación a través del software HEC-HMS y finalmente el planteamiento de alternativas de solución. En este proyecto se determinaron las manchas de inundación asimismo se sugirieron algunas alternativas de solución para la comunidad.

El Esquema de ordenamiento territorial del municipio Puerto Santander determina que la totalidad del área del municipio es afectada por inundaciones. La inundación es más acentuada en la cuenca del río Pamplonita, ocasionada por el desbordamiento del río, afectando algunos asentamientos, áreas de cultivos e infraestructura.

Villamizar, et al., (2018) realizaron el Análisis de amenaza por crecientes súbitas de la microcuenca la Viuda, municipio de Chitagá, Norte de Santander, en cuanto a los resultados obtenidos se tiene que en toda el área de la microcuenca no es homogénea y por ende se encuentra menos condicionada a avenidas agresivas, de tal manera que la amenaza por crecientes súbitas en el área de estudio es de mediana a baja intensidad, sin embargo no se descarta que se puedan provocar, por el exceso de actividades antrópicas en la parte alta y media de la microcuenca. Identificaron las áreas donde probablemente se producirán daños debido a las crecientes súbitas, constituyéndose en un aporte al conocimiento del riesgo a nivel local.

Villamizar, et al., (2018) desarrollaron el Análisis de amenaza por crecientes súbitas en la microcuenca El Arpero, municipio de Chitagá, Norte de Santander este análisis dio como resultado que el grado de amenaza de la zona de estudio es muy alta, principalmente para las actividades agropecuarias, teniendo en cuenta los eventos históricos de crecientes y la torrencialidad expresada en los datos de caudal y el tipo de material transportado, manifestadas al presentarse precipitaciones intensas en la zona de vertiente con el consecuente

aumento en el nivel de los caudales, generando crecientes repentinas y de corta duración. Produciendo crecientes torrenciales, que van socavando y disectando el lecho y las márgenes de las quebradas (Memorias CIMADES. 2018).

En Pamplona, se realizó por Lamus (2019) la modelación y simulación hidráulica de las zonas de desborde de la quebrada Tanaucá, provincia de Pamplona, Norte de Santander. Se determinó que la mayoría de secciones transversales presentan mayor tendencia a ser socavadas o erosionadas generando inconsistencias en las estructuras hidráulicas, tuberías y bocatomas para el abastecimiento de agua; debido al desequilibrio de material removido y material depositado principalmente. Asimismo, se observó que el modelo Yang para transporte de sedimento cuanto menor sea la velocidad de flujo menor es el esfuerzo cortante y mayor será la capacidad de transporte en las zonas socavadas que en las sedimentadas y viceversa.

Gutiérrez, et al., (2013) el Diagnostico y manejo ambiental de la microcuenca Q. El Escorial, municipio Pamplona donde en sus resultados se clasifica como microcuenca por su área, según su forma es susceptible a las crecidas e inundaciones en la parte alta, media y bajo (Barrio La Esperanza, predios Norgas) además la zonificación de la microcuenca se pudo determinar que el 30% del área total son bosques primarios, vitales para la diversidad de flora y fauna y la conservación de recurso hídrico en la parte alta de esta.

Vega, et al., (2013) elaboraron el Estudio hidrológico de la microcuenca Quebrada Zipacha mostrando en sus resultados el comportamiento del caudal que estaba relacionado con los días de precipitación como con los días de alta radiación solar que ocurrieron en Pamplona, además se establecieron las diferentes características morfométricas presentes, las áreas de cultivos y demás, permitiendo entender el comportamiento de la cuenca y sus características.

### **5.3 Marco Teórico**

Para realizar la investigación es necesario tener conceptos, definiciones o fundamentos teóricos que permitan profundizar y ampliar el tema a desarrolla. A continuación, se muestra las bases teóricas relevante al estudio.

#### ***5.3.1 Crecientes E Inundaciones***

Las crecientes súbitas son crecientes de corta duración con un caudal pico relativamente alto ocasionado por fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, dando lugar a incrementos del nivel en cortos periodos de tiempo. Las áreas de afectación son menores, el poder destructivo es potencialmente mayor y cobra el mayor número de vidas cuando se presentan, responden rápidamente a la ocurrencia de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos de nivel son del orden de metros en pocas horas, y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días, estas se presentan en todas las cuencas de alta pendiente de la región Andina principalmente (IDEAM,2018).

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.

Las inundaciones, según Velis, et al., (1991) son un fenómeno natural provocado por la persistencia de las lluvias en una región determinada que resulta en la anegación de vastas zonas y en el desbordamiento de corrientes de aguas superficiales, arroyos, quebradas, elevación del nivel freático, entre otros. También pueden ser provocadas por situaciones de origen artificial como la rotura de presas, roturas de tanques o cisternas captadoras de agua, dificultad en la canalización por bloqueo natural o artificial. Es decir, la ocupación que hace el agua de áreas normalmente secas cuando del nivel del agua sobrepasa el nivel del terreno de las orillas en los cauces de los ríos, lagos, acuíferos y océanos (OPS/OMS, 2006).

**Clasificación de las inundaciones.** Inundaciones urbanas De acuerdo a IDEAM (2004) se presentan por deficiencias de las redes de drenaje, en ciudades con una topografía plana o cóncava y/o por el desbordamiento de los ríos y quebradas que atraviesan o bordean las poblaciones. La principal causa de las inundaciones urbanas es la impermeabilización de superficies que produce una disminución del tiempo pico y del tiempo base del hidrograma, aumentando los caudales máximos en las tuberías de drenaje. La red de drenaje muchas veces no tiene la suficiente capacidad hidráulica debido a la configuración del terreno, al depósito sedimentos que entran a la red o a lo extremo del evento, desbordando por los imbornales, las tapas de las cámaras de inspección, canales, cajas domiciliarias e incluso de los aparatos sanitarios e inundando las vías y edificaciones.

- Inundaciones lentas o progresivas Se presentan en las zonas planas cercanas a las riberas de los ríos cuando las precipitaciones permanecen por largo tiempo (Robayo, 2014).
- Inundaciones torrenciales o súbitas (Robayo, 2014) ocurren ante tormentas fuertes en cuencas de alta pendiente y con baja cobertura vegetal. Pueden desarrollarse en minutos u horas y tienen como características principales una gran capacidad de arrastre de

materiales, y un alto poder destructivo. También pueden presentarse como resultado de la rotura de diques construidos o represamientos de agua.

- Las inundaciones pluviales (UNAM, 2015) Suceden cuando el agua de lluvia satura la capacidad del terreno para drenarla, acumulándose por horas o días sobre éste. Las inundaciones pluviales son fenómenos naturales que ocurren por la combinación de factores naturales (suelo, vegetación, relieve etc.) y antrópicos (cambio del uso del suelo, urbanización, entre otros). A continuación, se conocerán cada uno de los factores que influyen en estas inundaciones de forma general.
- Las inundaciones fluviales Se generan cuando el agua que se desborda de ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. (UNAM, 2015)

### ***5.3.2 Factores De Peligrosidad De Las Inundaciones Pluviales***

El conjunto de factores que influyen en la intensidad con que se va a manifestar un determinado peligro y los efectos que tendrán en la sociedad, se conocen como factores de peligrosidad (Bonilla, 2010), entre ellos están:

**Factores geológicos.** Dentro de los elementos geológicos a tener en cuenta (Bonilla, 2010) para analizar la peligrosidad por inundaciones pluviales en un territorio determinado se encuentra la litología y dentro de ella específicamente el grado de permeabilidad de las rocas. Inicialmente, se analiza qué rocas constituyen la zona de estudio. Posteriormente se analizará el grado de permeabilidad de las mismas de acuerdo con la clasificación propuesta por Batista (Seco, 1996), la cual agrupa los distintos tipos de rocas según la permeabilidad en tres grupos o categorías que se manifiestan seguidamente, como son:

- Rocas permeables son arenas, guijarros de las playas, bancos de tormentas, arenas aluviales, areniscas y calcarenitas fisuradas, brechas, conglomerados, conglobrechas,

olitostromas, mármoles, complejos caóticos, areniscas vulcanomícticas, concreciones calcáreas e intercalaciones flashoides (Bonilla, 2010).

- Rocas medianamente permeables en esta clasificación se encuentran arenas gravas, eoleanitas, arenas abigarradas, grauvacas, tobas, tufitas, andesitas, aleurolitas, margas, argilitas, esquistos y tobas metamorfizadas, calizas, meta-areniscas, metavulcanitas, serpentinitas, piroxenitas, peridotitas y dunitas serpentinizadas, rocas ultrabásicas metamorfizadas (bonilla, 2010).
- Rocas impermeables son los depósitos carbonatados, terrígenos y turbosos de pantanos, diques de basalto, granodiorita, dioritas, dioritas porfíricas, dioritas cuarcífero-monsónicas, plagio-granitos, granodioritas-dioritas cuarcíferas, cuarzo-dioritas porfíricas, granitos biotito-moscovítico, complejo basalto-toleítico, limos y arcillas, gabros (Bonilla, 2010).

Teniendo en cuenta esta clasificación se puede saber si el territorio a estudiar desde el punto de vista geológico es propicio para que se produzcan inundaciones pluviales o no, pues donde se encuentren rocas impermeables será más lenta la infiltración y por tanto mayor contenido de agua quedará depositada sobre la superficie, no siendo así en las rocas permeables, donde las precipitaciones se infiltran más rápidamente impidiendo así la acumulación de agua en la superficie.

**Factores geomorfológicos.** Según Bonilla (2010), cuando se analiza el relieve se debe tener presente los índices geomorfológicos y dentro de este específicamente los morfométricos, entre los que se encuentra el ángulo de la pendiente. Este índice es de gran importancia a tener en cuenta en los estudios de las inundaciones pluviales, debido a que en dependencia de la inclinación que posea la superficie terrestre, será la velocidad que tome el escurrimiento

superficial. Si en el área a estudiar se encuentra una pendiente muy inclinada se obtendrá entonces que el flujo de agua correrá más rápidamente, será más difícil que parte de la lámina de agua pueda infiltrar hacia el interior, por tanto, mayor cantidad de agua llegará a la base de la pendiente pudiendo ocasionar inundaciones. Por el contrario, se encuentra en una superficie donde la inclinación es poca, el flujo de agua que se desplazará sobre la misma lo hará de forma más lenta, posibilitando a su vez que parte de esta pueda infiltrarse, llegando menos cantidad de agua al pie de la elevación y evitando la acumulación de las aguas en zonas bajas y poco permeables. También, se debe tener en cuenta la altura sobre el nivel del mar, pues en dependencia de la misma el territorio será más o menos susceptible ante una inundación pluvial. Un territorio bajo se encontrará más expuesto a las inundaciones no solo pluviales sino también fluviales, mientras que un territorio con una determinada altura se encuentra menos expuesto a este tipo de riesgo.

**Factores meteorológicos.** De acuerdo con Bonilla (2010), entre las variables meteorológicas existentes solo se tendrá en cuenta en este epígrafe las precipitaciones, por influir de forma directa sobre las inundaciones pluviales. Mientras mayor sea la cantidad de precipitaciones que ocurran en un área, mayor será la posibilidad de que ocurra una inundación. Al analizar las precipitaciones se debe tener en cuenta la intensidad y la duración de las mismas y también el volumen o cantidad total, pues si son escasas y caen en un período de tiempo corto, pueden no provocar inundaciones, si por el contrario son abundantes y ocurren en un período prolongado, si pueden favorecer la ocurrencia de las mismas.

Según Chow, et al., (1995) y Bateman (2007) las curvas IDF son de gran importancia dado que según la intensidad y duración se puede conocer el periodo de retorno en que se presentara, siendo relevante para este estudio porque se desea conocer la probabilidad de

ocurrencia de crecientes súbitas en la zona, la intensidad de lluvia se determina con la ecuación

1.

$$I = KT^m / D^n \quad \text{Ec. 1}$$

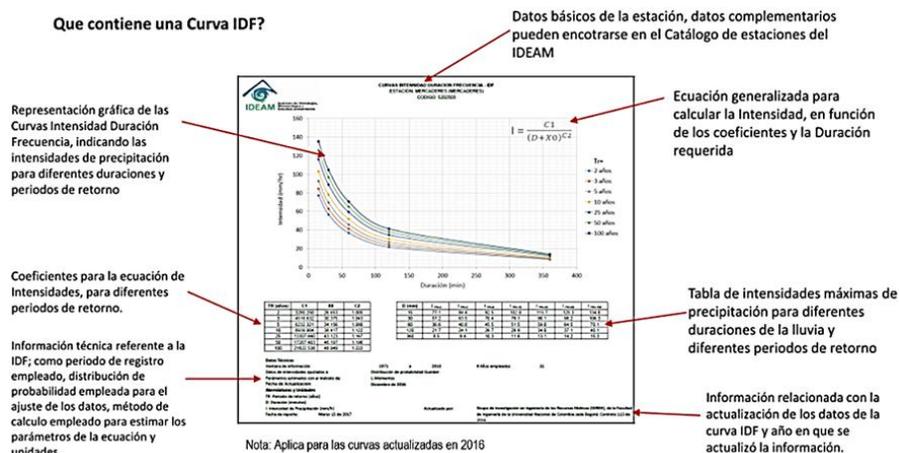
Donde, I es la intensidad de precipitación en mm/hr, las variables k, m y n se calculan mediante un análisis de regresión lineal múltiple, T es el período de retorno en años y D la duración en minutos.

La Curva Intensidad, Duración y Frecuencia de acuerdo al IDEAM (2014) representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en mm/h, para una duración (D) determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 m y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno. Por otro lado, las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978).

En la Figura 2 se muestra el tipo de curvas IDF realizadas por el IDEAM en la que se explica toda la información que aparece en la misma facilitando la interpretación.

## **Figura 2**

*Información que contiene una curva IDF realizada por el IDEAM.*



Fuente. IDEAM (2016)

En este sentido, se debe destacar que la intensidad, según CHOW, et al., (1995), se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/hr), que se determina con la ecuación 2.

$$I = P/T_d \quad \text{Ec. 2}$$

Donde P es la profundidad de lluvia en milímetros (mm) o pulgadas (pulg), y Td es la duración, dada usualmente en horas (hr).

**Factores hidrológicos.** Para Bonilla (2010), entre los elementos a tener en cuenta se encuentra la profundidad del nivel freático, pues en zonas donde este se encuentre cercano a la superficie, menor espesor tendrá la capa de suelo no saturada y menos cantidad de agua absorberá. Por el contrario, si se está en presencia de un territorio cuyo nivel freático se encuentra bien profundo la capa de suelo no saturado será mayor, por lo que mayor cantidad de agua absorberá. Aunque aquí también juegan un papel importante el tipo de suelo y las rocas que existan en el lugar.

Según Gaspari (2012), el análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una

cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo. Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella. Los parámetros Morfométricos de una cuenca integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control.

Los parámetros morfométricos principales son: longitud del cauce principal, área, perímetro, ancho promedio, coeficiente de compacidad o Índice de Gravellius ( $K_c$ ), factor de forma ( $F_f$ ), tiempo de concentración ( $t_c$ ) y en los parámetros hidrográficos están: tipo de corriente, número de orden, densidad de ríos, densidad de drenaje, pendiente media del cauce principal, altura media del cauce principal, entre otros.

**Factores edafológicos.** Entre los factores edafológicos se encuentran las propiedades físico-mecánicas de los suelos y dentro de estas la permeabilidad, que no es más que la velocidad con que el agua se infiltra a través de los horizontes del suelo. De acuerdo con la composición de los suelos, estos pueden absorber mayor cantidad de agua como es el caso de los suelos permeables o por el contrario absorber menor cantidad de agua como sucede con los suelos impermeables. Si se halla en presencia de un suelo con mucho contenido de arcilla, menos cantidad de agua logra pasar a los horizontes inferiores, por tanto, se infiltra menos y escurre mayor cantidad de agua; todo lo contrario, sucede en un suelo que posea gran contenido de arena, el cual permite que gran parte del agua que precipita pase a los horizontes inferiores logrando el humedecimiento de estos y por tanto menor es la escorrentía superficial (Bonilla, 2010).

**Factores biogeográficos** Para Bonilla (2010), al analizar los factores biogeográficos se centrarán en la vegetación, la cual juega un papel fundamental en las inundaciones pluviales. La cobertura vegetal de un territorio protege al terreno de la erosión provocada por el escurrimiento, pues la infiltración es mayor, a su vez actúa como una barrera natural que regula la cantidad de agua que llegará de forma efectiva al suelo, ya que parte de las precipitaciones queda en las hojas de los árboles, (este fenómeno se conoce con el nombre de intercepción) y va a depender de la densidad y naturaleza de la vegetación. También la vegetación impide que las gotas de agua caigan de manera directa sobre el suelo, lo que provoca la compactación del mismo y como consecuencia la disminución de la permeabilidad, evitando la erosión por impacto producida por las gotas de agua cuando impactan sobre el suelo.

### ***5.3.3 Mediciones Hidrometeorológicas***

Como punto de partida en este aspecto es preciso describir la Hidrometría debido a que es la parte aplicada de la Hidrodinámica que trata de los métodos de medición de la velocidad, el caudal y las fuerzas de los líquidos en movimiento. La hidrometría comprende también las mediciones de niveles de agua, concentración y transporte de sedimentos, los levantamientos altimétricos de los perfiles longitudinal y transversal del cauce de las corrientes naturales y de masas de agua (Espinoza, et al., 2018).

No obstante, es necesario mencionar que los instrumentos hidrométricos son aparatos e instrumentos de medida, requeridos para realizar mediciones de campo relacionadas con corrientes de agua; pueden ser registradores y no registradores. Los registradores dibujan continuamente un gráfico de las fluctuaciones de la característica medida. Los aparatos no-registradores requieren de un observador, quien anota las lecturas a intervalos regulares de tiempo. Los instrumentos hidrométricos más comunes en las estaciones hidrométricas son: miras

o limnímetros, limnógrafos, maxímetros, puntos fijos de referencia, secciones y tramos artificiales de control, diques y vertederos para aforos volumétricos, puentes hidrométricos, cables, tarabitas o canastillas, flotadores, correntómetros, barcas, lanchas botes, instrumentos para aforos con trazadores y trampas de sedimentos (Marbello, 2015).

A continuación, Franquet (2009), Aristizabal (2018) y Marbello (2015) describen uno de los instrumentos hidrométricos, más usuales: limnímetros o miras, escalas graduadas, son miras graduadas de cm en cm, que se colocan en las márgenes de la corriente de agua para medir el nivel de ésta en un instante determinado. Para su instalación es recomendable lo siguiente:

Deben instalarse sobre la orilla más próxima al sector más profundo del cauce.

Deben adosarse a listones de madera, empotrados en concreto o atornillados a perfiles metálicos.

Su instalación se hará de tal manera que el plano “cero” quede convenientemente referenciado, por nivelación topográfica, a un punto invariable cercano a la estación.

De acuerdo con Roman, et al., (2015), el caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un ducto, ya sea tubería, cañería, oleoducto, río, canal, sobre unidad de tiempo. Generalmente, el caudal se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área determinada en una unidad de tiempo específica. Una forma de calcular el caudal es a través de la ecuación 3.

$$Q=A*v \qquad \text{Ec. 3}$$

Donde, Q es el valor de caudal ( $m^3/s$ ), A es el área por donde sale el fluido ( $m^2$ ) y v es la velocidad (m/s).

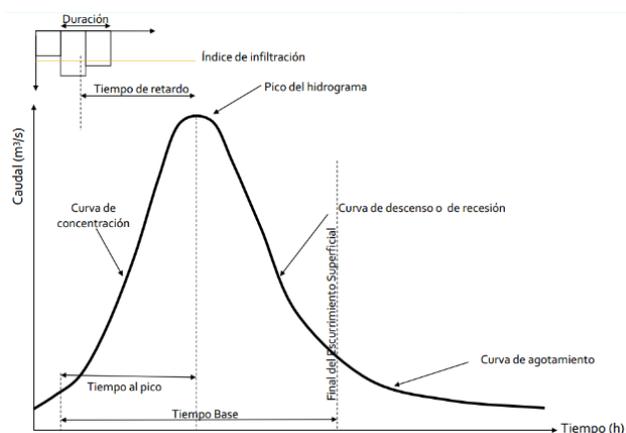
Según Villón (2002), en esta área existen diagramas o gráficos que permiten representar la precipitación, el caudal en función del tiempo siendo útiles al momento de tomar decisiones y facilitando la interpretación de series de datos de zonas específicas. Entre ellos tenemos:

-Hietogramas (del griego Hietos, lluvia), que de acuerdo con Sánchez (2014) son un gráfico que expresa precipitación en función del tiempo. En ordenadas generalmente figura la precipitación caída (mm), pero a veces se construyen hietogramas de intensidad de precipitación (mm/hora). Generalmente se representa como un histograma (gráfico de barras).

-Hidrogramas representa la variación del caudal en relación con el tiempo en determinado punto de una cuenca hidrográfica. En este, el área bajo el hidrograma es el volumen de agua que ha pasado por el punto de aforo, en el intervalo de tiempo expresado en el hidrograma como se muestra en la Figura.3. Es muy raro que un hidrograma presente un caudal sostenido y muy marcado, en la práctica la forma irregular de la cuenca, la heterogeneidad espacial y temporal de la lluvia, la influencia de las infiltraciones, conducen a hidrogramas de uno o muchos picos ó caudal máximo (Sánchez, 2014).

### Figura 3

#### *Partes de un Hidrograma*



Fuente. Sánchez (2014)

De acuerdo a Sánchez (2014), las partes del hidrograma son las siguientes:

- Curva de concentración es la parte que corresponde al ascenso del hidrograma.
- Pico del hidrograma ( $Q_p$ ) es el máximo de escorrentía.
- Tiempo al pico ( $t_p$ ) es el tiempo entre el inicio de la escorrentía y la ocurrencia del pico en el hidrograma.
- Tiempo de recesión ( $t_r$ ) es el tiempo desde el inicio de la recesión hasta el final de la misma.
- Tiempo base ( $t_b$ ) es el tiempo transcurrido desde el inicio de la crecida hasta el final de la escorrentía directa, por lo tanto, es el tiempo total del hidrograma de escorrentía.
- Volumen de escorrentía es el área debajo del hidrograma y se expresa en  $m^3$  y litros.
- Tiempo de retardo ( $t_i$ ) es el tiempo entre la mitad de la duración de la lluvia efectiva y el tiempo pico.
- Puntos de inflexión ocurre en la recesión y coinciden con los cambios de dirección de la curva de recesión. El primer punto de recesión indica el fin del escurrimiento y el segundo el fin de la escorrentía directa.
- Duración de la precipitación efectiva ( $D$ ), tiempo transcurrido entre el inicio y el final de la lluvia efectiva.
- Tiempo de concentración ( $t_c$ ) es el tiempo entre el final de la lluvia efectiva y el primer punto de inflexión.

Ante los eventos de crecientes es necesario dar solución a situaciones que se pueden generar, para ello es necesario conocer acerca de la gestión.

#### ***5.3.4 Susceptibilidad Y Amenaza Por Crecientes Súbita***

Algunas zonas presentan Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que presenta o puede ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente, a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523 de 2012, artículo 4). Igualmente, la vulnerabilidad (Ve), es la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad a ser afectada o sufrir los efectos adversos en caso de que se manifieste una amenaza con una intensidad mayor (Cardona, 2001). Representa también las condiciones que imposibilitan o dificultan la recuperación autónoma posterior (CEPREDENAC/PNUD, 2005).

Según González, et al., (2000), la susceptibilidad es la posibilidad de que una zona sea afectada por un determinado proceso expresado en diversos grados cualitativos y relativos, dependiendo de los factores que controlen y condicionen la ocurrencia de los procesos, los cuales pueden ser intrínsecos de los propios factores condicionantes y detonantes externos de los eventos.

La susceptibilidad de un sector se presenta en un mapa donde se identifican áreas con diferentes grados de susceptibilidad como bajo, medio y alto, aunque según las características de la zona se pueden establecer otras categorías (Badilla, 2011).

Según Yee (2008), los mapas de susceptibilidad indican la propensión o tendencia de una zona a ser afectada físicamente por un peligro determinado a través de análisis comparativos de factores condicionantes o desencadenantes, cualitativos o cuantitativos, con las áreas que han sido afectadas en el pasado.

De acuerdo con Naranjo (2010), la vulnerabilidad se determina a partir de 3 factores:

Exposición o fragilidad física consiste en la ubicación de personas o bienes económicos en zonas propensas a amenaza (EIRD/ONU, 2011). Está compuesto por todos los individuos, hogares, clases, estados, ecosistemas, etc. Se caracteriza a través de la frecuencia, magnitud y duración.

Sensibilidad o fragilidad social: es decir la relación entre las condiciones humanas (capital social) y las condiciones ambientales (capital natural, riqueza suelo, agua, aire).

Elasticidad o resiliencia: determina la respuesta, el impacto y el ajuste o adaptación, es decir a partir de programas existentes, cuantas pérdidas se provocan y que nuevos programas surgen.

Según Ollero Y Ojeda (1997), los elementos que determinan la vulnerabilidad de una comunidad frente a las inundaciones son:

- Los usos del suelo y del agua.
- La presencia de asentamientos humanos y la densidad de población en zonas inundables.
- El nivel tecnológico y de organización.
- La infraestructura existente y el ordenamiento territorial.
- La concentración espacial de actividades industriales y de producción de bienes y servicios.
- La degradación del medio físico.
- La existencia y eficacia de los Sistemas de Atención y Prevención de Desastres, ahora denominados Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres.
- La existencia y eficacia de los Planes de Emergencia con Sistemas de Evacuación.

Índice de Vulnerabilidad Prevaleciente - IVPx (Ecuación 4), es una forma de estimar la vulnerabilidad, a partir de la suma ponderada de factores que la definen, y que reflejan la exposición y susceptibilidad física ES, la fragilidad socio-económica FS y la falta de resiliencia FR en cada unidad de análisis (CARDONA, 2005).

$$IVP_{ES,FS,FR} = \sum_{i=1}^m W_{ESx} \times D_{ESx} + \sum_{j=1}^n W_{FSx} \times D_{FSx} + \sum_{k=1}^l W_{FRx} \times D_{FRx} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde,  $W_{ESx}$ ,  $W_{FSx}$  y  $W_{FRx}$  son los pesos que toman en consideración la importancia relativa de cada categoría de vulnerabilidad;  $D_{ESx}$ ,  $D_{FSx}$  y  $D_{FRx}$  son los descriptores que componen cada categoría de vulnerabilidad y m, n y j indican el número total de descriptores para cada categoría de vulnerabilidad.

La valoración de los pesos de cada uno de los descriptores que componen los índices, se obtiene mediante su ponderación y sus valores deben ilustrar la importancia de cada uno con respecto a los demás en la determinación de cada índice, debiendo tratar de reflejar el conocimiento colectivo de los expertos para definir su valor. Finalmente, para su ponderación se utiliza el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), una técnica factible y razonable para capturar el criterio, la experiencia y el juicio de expertos (González, 2005).

En la tabla 2 se presentan los posibles descriptores de la vulnerabilidad frente a inundaciones:

**Tabla 2**

*Descriptores De La Vulnerabilidad Prevaleciente*

|                                                    | <b>Código</b> | <b>Descriptor, D</b>             |
|----------------------------------------------------|---------------|----------------------------------|
| <b>Indicadores de exposición y susceptibilidad</b> | ES1           | Densidad poblacional             |
|                                                    | ES2           | Densidad agrícola y ganadera     |
|                                                    | ES3           | Crecimiento poblacional          |
|                                                    | ES4           | Dispersión poblacional           |
|                                                    | ES5           | Población Indígena               |
|                                                    | ES6           | Población con dependencia física |
|                                                    | ES7           | Población NBI                    |

|                                            |                                               |                                                           |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Indicadores de fragilidad</b>           | ES8                                           | Población en sector primario                              |
|                                            | ES9                                           | Viviendas pobres o con hacinamiento                       |
|                                            | Código                                        | Descriptor, D                                             |
|                                            | ES1                                           | Marginación poblacional                                   |
|                                            | ES2                                           | Migración Poblacional                                     |
|                                            | ES3                                           | Rezago Social                                             |
|                                            | ES4                                           | Seguridad Social                                          |
|                                            | ES5                                           | Desempleo abierto                                         |
|                                            | ES6                                           | Ingreso poblacional                                       |
| <b>Indicadores de falta de resiliencia</b> | ES7                                           | Dependencia socioeconómica                                |
|                                            | ES8                                           | Déficit de vivienda                                       |
|                                            | ES9                                           | Dependencia del crecimiento económico del sector primario |
|                                            | Código                                        | Descriptor, D                                             |
|                                            | ES1                                           | Cobertura servicios médicos                               |
|                                            | ES2                                           | Cobertura servicios hospitalarios                         |
|                                            | ES3                                           | Cobertura servicios de auxilio                            |
|                                            | ES4                                           | Capacidad de alberque                                     |
|                                            | ES5                                           | Capacidad de divulgación de información                   |
| ES6                                        | Índice de desarrollo municipal                |                                                           |
| ES7                                        | Índice de percepción del riesgo de inundación |                                                           |
| ES8                                        | Índice de operatividad en emergencias         |                                                           |
| ES9                                        | Sostenibilidad ambiental                      |                                                           |

---

Fuente. González (2005)

El Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación de la Comunidad Valenciana (Patricova, 2002) en su metodología indica que la vulnerabilidad cuantifica la magnitud de los daños producidos por un suceso determinado (inundación).

Los parámetros de magnitud más importantes son dos: el nivel (o calado) máximo alcanzado por el agua, y la tipología de los bienes afectados por dicho calado.

La amenaza es el 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 en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Ley 1523 DE 2012, artículo 4).

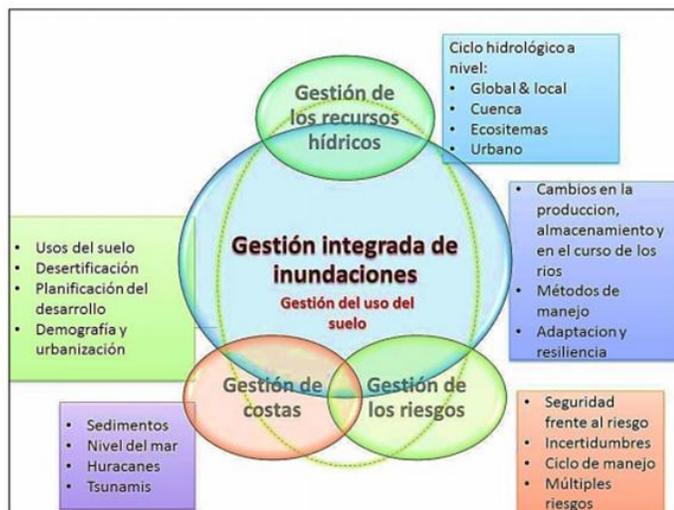
### **5.3.5 Gestión Integrada De Inundaciones (GII)**

Se entiende la gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) como un proceso que aspira al desarrollo y a la gestión coordinada de los recursos hídricos, del suelo y afines para optimizar el bienestar económico y social equitativamente, sin amenazar la sostenibilidad de los ecosistemas vitales. Igualmente, la gestión integrada del recurso hídrico expone que el manejo de desastres socio-naturales asociados al agua, como lo son las inundaciones, son factor determinante para el desarrollo de una sociedad que busca soluciones adaptativas para beneficiarse de las inundaciones y disminuir su vulnerabilidad al peligro, promoviendo la coordinación en el aprovechamiento y manejo de recursos físicos, políticas, planes y los sistemas humanos (GWP, 2000).

La GII (Figura4) debe tener un carácter participativo y multisectorial con el fin de identificar la mejor combinación de estrategias frente a las inundaciones (APFM, et al., 2009). La visión holística del ciclo hidrológico, la gestión conjunta del suelo y los recursos hídricos, la planificación y el ordenamiento territorial, la gestión de riesgos, incertidumbres y sinergias, la selección de estrategias eficaces; por último, el enfoque participativo conforma los pilares conceptuales a tener en cuenta a la hora de formular un plan integral de gestión del riesgo de inundaciones.

#### **Figura 4**

*Modelo de gestión integrada de inundaciones.*



Fuente. APFM, et al. (2009)

Gestión de inundaciones urbanas las ciudades están sujetas a inundaciones fluviales y pluviales, las primeras se deben al desbordamiento de ríos u ocupación de sus áreas de planicie de inundación, ocupadas por las personas. Las segundas se deben al efecto de la impermeabilización de superficies, a la colmatación de los sistemas de drenaje urbano y a las obstrucciones en las redes de alcantarillado y canalizaciones (Sedano, 2012).

En general, las ciudades tienden a ocupar primero las zonas de planicie, resultando en un estrangulamiento de los cauces naturales (construcción de diques y puentes) y ocupación de las llanuras inundables con desarrollo urbano y cultivos. En ese periodo, las zonas de ladera no urbanizadas funcionan como amortiguadores de la escorrentía producida la parte alta de la cuenca. Cuando dichas áreas de pendiente son posteriormente urbanizadas e impermeabilizadas, se incrementa la escorrentía y el volumen anteriormente retenido aguas arriba, se traslada hacia aguas abajo, aumentando los caudales pluviales en las canalizaciones. Debido a lo anterior, los canales empiezan a resultar insuficientes con una limitación de espacio para ampliar las obras en sentido lateral, se producen inundaciones en la zona plana y hacen necesarias nuevas y costosas inversiones para profundización de canales y bombeos (Sedano, 2012).

El desarrollo tradicional del sistema de drenaje urbano tiene dos enfoques: minimizar el tiempo de evacuación del escurrimiento del lugar de origen, y la evaluación y control por tramos o zonas, es decir, trasladar la inundación de un lugar a otro de la cuenca urbana lo más rápido posible y analizar la cuenca por sectores. Estas concepciones del funcionamiento del sistema de drenaje en una ciudad se transforman en vulnerabilidad hacia las inundaciones ya que el desarrollo fraccionado no permite prever el desarrollo urbano y sus efectos sobre otros sectores o microsistemas de drenaje y mucho menos el efecto de las grandes canalizaciones sobre estas micro redes (Tucci, et al., 2006).

### ***5.3.6 Modelación Hidrológica***

Antes de hablar de la modelación hidrológica es necesario entender o tener una concepción de lo que es un modelo hidrológico, entendiéndose este como una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica (Rivas, 2013).

Para IDEAM (2014), en un modelo hidrológico, el sistema físico real que generalmente representamos es la 'cuenca hidrográfica' y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. De esta manera un modelo matemático nos ayudará a tomar decisiones en materia de hidrología, por lo que es necesario tener conocimiento de entradas (inputs) al sistema y salidas (outputs) a partir del sistema, para verificar si el modelo es representativo del prototipo.

Según Dueñas (1997), la modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la

ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias.

Para ejecutar la modelación hidrológica se decide utilizar los softwares ArcGis 10.2.2, Hec-RAS 5.0.3 y Hec-HMS 4.2.1 versión libre, que permiten a partir información base (recopilada en campo, imágenes satelitales y la suministrada por Instituciones competentes) realizar el modelo de la zona de estudio y así conocer sus características mediante las herramientas que estos nos ofrecen.

**ArcGis.** Es un software de información geográfica desarrollado para generar conocimiento geográfico y para analizar datos de este tipo. Examina relaciones, realiza predicciones y toma mejores decisiones gracias a la búsqueda y el estudio de datos geoespaciales (Hernandez, 2014).

Algunas de las características que este posee son:

- Herramienta avanzada de análisis y geoprocésamiento.
- Incluye variadas herramientas de edición que simplifican la entrada y el diseño de datos.
- Crea proyectos cartográficos de forma automatizada y ahorrando tiempo.

Dentro de ArcGIS hay múltiples herramientas de análisis espacial, integra fácilmente datos para su visualización y análisis, importa o exporta bases de geodatos, busca y encuentra información geográfica. Además, genera mapas de alta calidad, para lo que cuentas con plantillas predefinidas, completas librerías de símbolos, gráficos y elementos de mapas o herramientas de dibujo y cartografía.

**Hec-RAS.** (RHYDRO, 2018) diseñado para realizar cálculos hidráulicos en una y dos dimensiones para una red completa de canales naturales y construidos. Además, tiene la capacidad de realizar mapas de inundación de los resultados del perfil de la superficie del agua directamente desde Hec-RAS. Mediante la geometría de Hec-RAS y los perfiles de la superficie del agua calculada, se crean datasets de profundidad de inundación y límites de planicie de inundación a través del Asignador de RAS. Se pueden generar datos geospaciales adicionales para el análisis de la velocidad, el esfuerzo de corte, la potencia de la corriente, el espesor del hielo y los datos de invasión de la vía de inundación.

**Hec-HMS 4.2.1.** El sistema de modelado hidrológico “Hec-HMS” (Córdova, 2016) es diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas dendríticas. El software incluye muchos procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, como la infiltración de eventos, los hidrogramas unitarios y el enrutamiento hidrológico. Hec-HMS también incluye los procedimientos necesarios para la simulación continua. Se proporcionan herramientas de análisis complementarias para la optimización del modelo, el flujo de predicción, la reducción del área de profundidad, la evaluación de la incertidumbre del modelo, la erosión y el transporte de sedimentos, y la calidad del agua.

#### **5.4 Marco Legal.**

A nivel nacional en la normativa que existe sobre la temática de investigación se tiene:

Decreto 2811 Del 1974 Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, parte I normas comunes, capítulo II. La adquisición de bienes para defensa de recursos naturales, título VII restricciones y limitaciones al dominio privado y al uso de los recursos naturales renovables de interés social o utilidad pública. Artículo 69. Se podrán adquirir bienes de propiedad privada y los patrimoniales de las entidades de derecho

público que se requieran para los siguientes fines: a.- Construcción, rehabilitación o ampliación de distritos de riego; ejecución de obras de control de inundaciones, de drenaje y otras obras conexas, indispensables para su operación y mantenimiento;

Parte III de las aguas no marítimas, capítulo VI. De la servidumbre de uso de riberas, título v. de las obras hidráulicas. Artículo 124. Los propietarios, poseedores o tenedores de predios o las asociaciones de usuarios podrán construir con carácter provisional y sin permiso previo obras de defensa en caso de crecientes extraordinarias y otros semejantes de fuerza mayor, dando aviso dentro de los seis días siguientes a la iniciación de dichas obras. Pasado el peligro se podrá ordenar la demolición de las obras provisionales, la reposición de las destruidas o la construcción de otras nuevas necesarias, por cuenta de quienes resulten favorecidos con ellas, aun indirectamente y en proporción del beneficio que obtuvieren. Artículo 126. Cuando por causas de aguas lluvias o sobrantes de aguas usadas en riego se produzcan inundaciones, los dueños de Los predios vecinos deberán permitir la construcción de obras necesarias para encauzar las aguas, previa la aprobación de los correspondientes planos

Ley 1523 de 2012 (abril 24) por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Artículo 24. Comité Nacional para el Manejo de Desastres. Créase el Comité Nacional para el Manejo de Desastres como una instancia interinstitucional del sistema nacional que asesora y planifica la implementación permanente del proceso de manejo de desastres con las entidades del sistema nacional.

Decreto 1640 02 agosto de 2012 por m

Decreto 1807 19 septiembre de 2014 "Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones", título 11 condiciones técnicas para la elaboración de estudios básicos y detallados, capítulo I condiciones técnicas para la elaboración de estudios básicos. Artículo 9. Estudios básicos de amenaza de inundación. Para determinar las condiciones de amenaza por inundación en suelos urbanos, de expansión urbana y rural, los estudios básicos tienen las siguientes especificaciones mínimas:

- Área de estudio: Las zonas en las cuales exista la posibilidad de presentarse una inundación sean aledañas o no a ríos, caños, quebradas, humedales y otros cuerpos de agua o aquellas que hagan parte de su área de influencia. En el análisis se deben considerar los casos en los que existan precedentes de mecanismos generadores de inundaciones tales como encharcamiento por lluvias intensas sobre áreas planas, encharcamiento por deficiencia de drenaje, inundaciones costeras entre otros. Los municipios o distritos con un suelo rural superior a 1.500 km<sup>2</sup>, para los cuales no exista base cartográfica e insumos a 1:25.000, podrán realizar los estudios para esta clase de suelo a escala 1:100.000 o 1:50.000. En aquellas áreas rurales donde se presenten inundaciones recurrentes, con presencia de elementos expuestos, deben realizar los estudios básicos a 1:25.000.
- Insumos: Se debe utilizar como mínimo los siguientes insumos:
  - Geomorfología. Identificación de las diferentes subunidades geomorfológicas asociadas a los paisajes aluviales, con especial énfasis en las geoformas correspondientes a la llanura de inundación.
  - Modelo de elevación digital del terreno.

- Identificación de las zonas inundables e inundadas (registro de eventos). A partir de información de las diferentes entidades a nivel nacional, regional o local, interrelacionada con la información de la comunidad identificar cuales áreas han sufrido afectaciones por inundación y en qué fecha.
- Hidrología. Caracterización del comportamiento del régimen hidrológico en la región a la cual pertenece el municipio mediante un análisis de los eventos hidroclicmáticos máximos' identificando para cuales' períodos de retorno se están presentando las afectaciones y las áreas afectadas para los mismos.
- Alcance: Para la zonificación de la amenaza se emplean tres categorías: alta, media y baja, teniendo en cuenta el registro de eventos, la recurrencia de los mismos y la intensidad (niveles alcanzados) de la inundación. Para el suelo urbano, de expansión urbana y rural se utilizará, como mínimo, análisis de tipo histórico y geomorfológico. De acuerdo con la información disponible se podrán complementar con análisis hidrológico-hidráulicos y métodos asistidos por sensores remotos y sistemas de información geográfica. En todo caso, los análisis se realizan en función de la magnitud de la amenaza, su intensidad, consecuencias y la disponibilidad de información.
  - Productos: Como resultado de los estudios, se elaboran mapas de zonificación de amenaza por inundaciones, según lo dispuesto en el presente artículo. Se debe elaborar un documento técnico. Que contenga la metodología empleada y los resultados obtenidos.

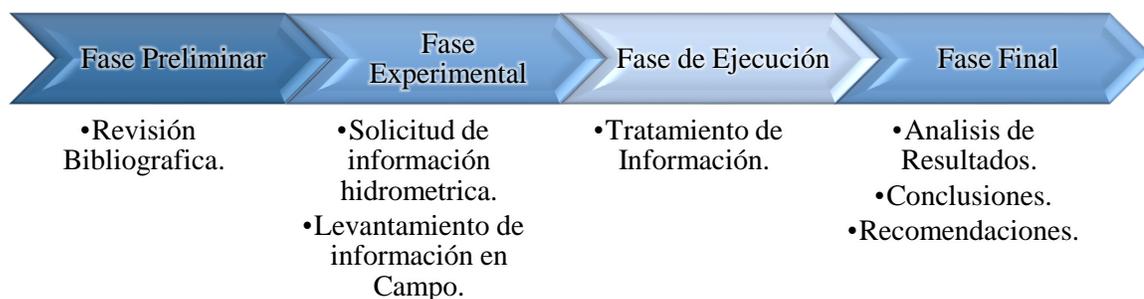
Decreto 2245 29 de diciembre de 2017 Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario

del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas. Artículo 1. El Libro 2, parte 2. Título 3, Capítulo 2 del Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, tendrá una Sección 3 A con el siguiente texto: sección 3A del acotamiento de las rondas hídricas. Artículo 2.2.3.2.3A.1. Objeto y ámbito de aplicación. El presente decreto tiene por objeto establecer los criterios técnicos con base en los cuales las Autoridades Ambientales competentes realizarán los estudios para el acotamiento de las rondas hídricas en el área de su jurisdicción. La ronda hídrica se constituye en una norma de superior jerarquía y determinante ambiental.

Decreto 2157 de 2017 "por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la ley 1523 de 2012", CAPITULO 5 Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas, Sección 2 Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas. Artículo 2.3.1.5.2.1.- Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas (PGRDEPP), Es el instrumento mediante el cual las entidades públicas y privadas, objeto del presente capítulo, deberán: identificar, priorizar, formular, programar y hacer seguimiento a las acciones necesarias para conocer y reducir las condiciones de riesgo (actual y futuro) de sus instalaciones y de aquellas derivadas de su propia actividad u operación que pueden generar daños y pérdidas a su entorno, así como dar respuesta a los desastres que puedan presentarse, permitiendo además su articulación con los sistemas de gestión de la entidad, los ámbitos territoriales, sectoriales e institucionales de la gestión del riesgo de desastres y los demás instrumentos de planeación estipulados en la Ley 1523 de 2012 para la gestión del riesgo de desastres.

## 6. Metodología

El estudio de susceptibilidad a crecientes súbitas en la parte alta del río Pamplonita del municipio de Pamplona se realizó mediante el desarrollo de la metodología descrita en el siguiente diagrama y más adelante se describen las actividades:



### 6.1 Reconocimiento De La Zona De Estudio Y Diagnóstico De Los Factores

#### Incidentes A Crecientes Súbitas En La Parte De Alta De La Cuenca Del Río Pamplonita

##### 6.1.1 Reconocimiento De La Zona De Estudio

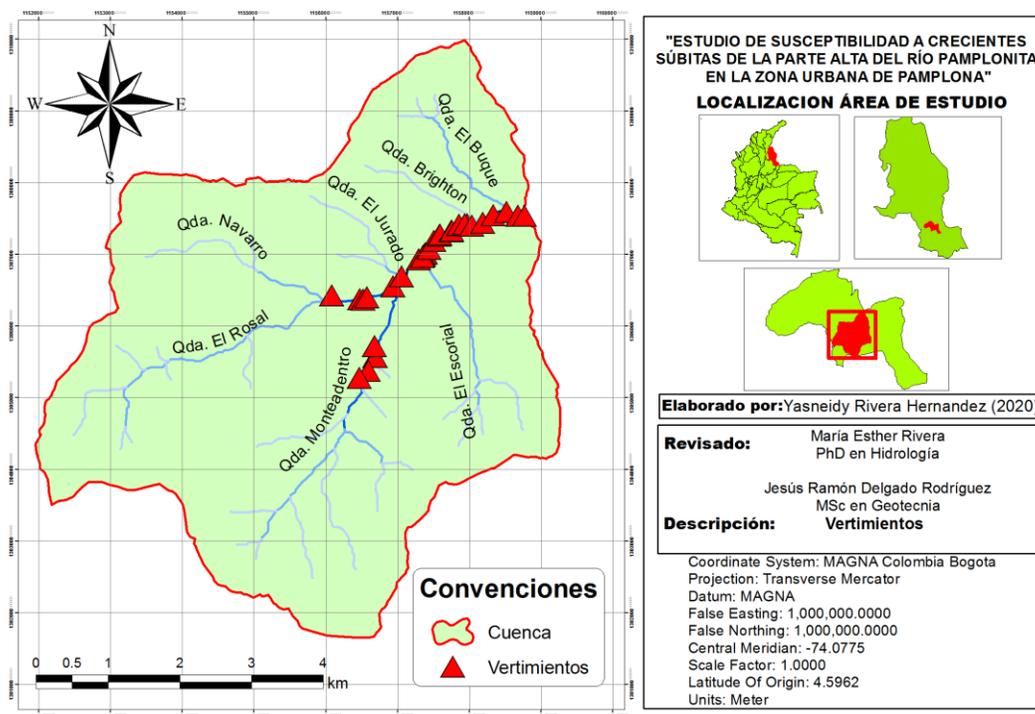
El reconocimiento de la Zona se realizó por medio de visita de campo a los afluentes Monteadentro, Rosal, Navarro, Jurado, Escorial, Brighton, El Buque y tramo del río Pamplonita hasta el puente Chichira. Las visitas de campo se llevaron a cabo de forma independiente, es decir, sin acompañamiento de algún ente correspondiente en las cuales para el reconocimiento de cada microcuenca fueron necesarias dos (2) o más visitas. Allí se observó el tipo de cobertura vegetal actualmente, puntos de gran arrastre de sedimentos, representativos para registro de niveles, caudales; allí también se observó algunas problemáticas como son: socavación, daños a infraestructuras, entre otros.

En el reconocimiento de la zona se observaron algunos vertimientos principalmente en los afluentes Monteadentro, Navarro y el tramo en estudio del río Pamplonita; aproximadamente 35 vertimientos (Figura 5). Estos son provenientes de viviendas, algunos vertimientos

comerciales en el sector de la Plazuela Almeida y vertimientos industriales como el Hospital; siendo algunos intermitentes y otros permanentes.

### Figura 5

*Ubicación de puntos de Vertimientos en la Zona de Estudio.*



Fuente. Elaborado en ArcGis por Rivera H (2020)

En la Figura 6a se observa un vertimiento ubicado junto a la avenida Santander y en locales, por ejemplo, frente al terminal como se muestra en la Figura 6b. Por otra parte, en la Figura 6c se observa el vertimiento correspondiente al Hospital San Juan de Dios y finalmente, se presenta el vertimiento barrio Chichira (Figura 6d).

### Figura 6

*Vertimientos en la Zona de estudio*



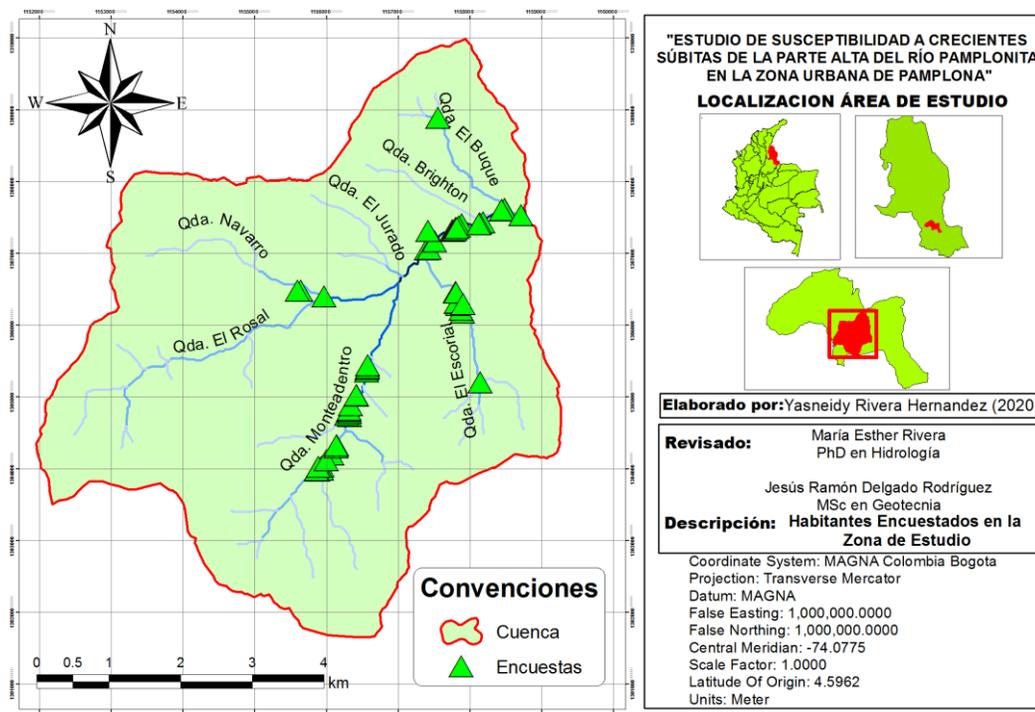
Fuente. Rivera H (2020)

### ***6.1.2 Diagnóstico De Los Factores Incidentes A Crecientes Súbitas En La Parte De Alta De La Cuenca Del Río Pamplonita***

En el diagnóstico se realizó el instrumento de recolección de información “encuesta” con el objetivo de conocer los tipos de emergencia presentados, la frecuencia, los niveles de las crecientes pasadas, sus actividades económicas, comerciales y usos que se dan al suelo en estas áreas de exposición a crecientes. La encuesta se muestra en el Apéndice A. Para la aplicación de la encuesta se realizó el muestreo no probabilístico, es decir se tuvo en cuenta la opinión de los habitantes a lo largo de las zonas aledañas al tramo en estudio del río Pamplonita y sus principales. La técnica de recolección fue un cuestionario impreso; cabe resaltar que la encuesta fue validada por los directores del proyecto. Se realizaron aproximadamente 60 encuestas en la Zona; la ubicación de los habitantes encuestados se observa en la Figura 7.

#### **Figura 7**

*Aplicación de encuestas a los habitantes de la Zona de estudio*



Fuente. Elaborado en ArcGis por Rivera H (2020)

## 6.2 Caracterización Morfométrica, Geológica, Geomorfológica, Cobertura Vegetal Y Uso Del Suelo Del Área De Estudio

### 6.2.1 Caracterización Morfométrica De La Parte Alta Del Río Pamplonita

La caracterización morfométrica se realizó por medio del software ArcGis 10.4 a partir de un modelo digital de elevación (DEM) de la zona, obtenido del Satélite Alos Palsar con una resolución de 30 m. Para ello, se georreferenció y corrigió el modelo. Después, se delimitó el área de estudio obteniéndose la red Hídrica. Luego, se procedió a obtener los parámetros físicos morfométricos de la cuenca como área, perímetro, longitud axial, longitud cauce principal, ancho promedio y máximo, pendiente media de cuenca; los valores de cotas máxima, mínima y media. Además, se realizó la curva hipsométrica y perfil longitudinal del cauce principal.

Posteriormente, se determinaron los parámetros de: factor forma de Horton, coeficiente de

compacidad de Gravellius, razón de elongación, densidad de drenaje, tiempo de concentración, entre otros. Estos parámetros fueron calculados a partir de las ecuaciones citadas en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Parámetros Morfométricos de la Parte Alta de la Cuenca del Río Pamplonita*

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA         |           |                                  |                        |
|-----------------------------------------------|-----------|----------------------------------|------------------------|
| PARAMETRO                                     | SIMBOLO   | UNIDAD                           | CALCULO                |
| <b>GENERALES</b>                              |           |                                  |                        |
| Área                                          | A         | Km <sup>2</sup>                  | Obtenida de ArcGis     |
| Perímetro                                     | P         | km                               | Obtenida de ArcGis     |
| Longitud Axial                                | LA        | km                               | Obtenida de ArcGis     |
| Longitud Cauce Principal                      | Lcp       | km                               | Obtenida de ArcGis     |
| Ancho promedio                                | B         | km                               | Obtenida de ArcGis     |
| Ancho Máximo                                  | Bmax      | km                               | Obtenida de ArcGis     |
| Pendiente media de la cuenca                  | S         | %                                | Obtenida de ArcGis     |
| <b>COTAS</b>                                  |           |                                  |                        |
| Altura mínima                                 | Hmin      | msnm                             | Obtenida de ArcGis     |
| Altura Máxima                                 | Hmax      | msnm                             | Obtenida de ArcGis     |
| Altura media                                  | Hmed      | msnm                             | Obtenida de ArcGis     |
| <b>FORMA DE LA CUENCA</b>                     |           |                                  |                        |
| Factor forma de (Horton, 1932)                | Kf        | km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> | $Kf=A/LA^2$            |
| Coefficiente de compacidad (Gravellius, 1914) | Kc        | km/km                            | $Kc=0.282P/\sqrt{A}$   |
| Razón de elongación (Shumm, 1956)             | Re        | km/km                            | $Re=1.128\sqrt{A}/L.A$ |
| <b>SISTEMA DE DRENAJE</b>                     |           |                                  |                        |
| Orden                                         | Ord       | adimensional                     | Método de Horton       |
| Longitud red hídrica o de los cauces          | $\sum Lc$ | km                               | Obtenida de ArcGis     |
| Densidad de drenaje (Horton, 1945)            | Dd        | Km <sup>-1</sup>                 | $Dd=\sum Lc/A$         |
| Índice de alargamiento (Horton, 1945)         | Ia        | km/km                            | $Ia=L.A/b_{max}$       |
| Índice de Homogeneidad (Horton, 1945)         | Ih        | km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> | $Ih=A/b_{max}*L.A$     |
| Frecuencia de Talwegs (Horton, 1945)          | Fr        | Km <sup>-2</sup>                 | $Fr=N1/A$              |
| Relación de Bifurcación (Strahler, 1969)      | Rb        | und/und                          | $Rb=Nn/Nn+1$           |
| Superficie umbral de escurrimiento            | Es        | km                               | $Es=A/\sum Lc$         |

|                                                   |    |                                |                                                |
|---------------------------------------------------|----|--------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Coefficiente orográfico (Mármol, 2008)</b>     | Co | m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> | $Co = H_{med}^2 / A$                           |
| <b>Coefficiente de Masividad (Martonne, 1940)</b> | Cm | msnm/km <sup>2</sup>           | $Cm = H_{med} / A$                             |
| <b>Tiempo de Concentración (Kirpich, 1940)</b>    | Tc | h                              | $Tc = 0.02 * (Lc^{0.77} / S^{0.385})$          |
| <b>Tiempo de Concentración (California, 1973)</b> | Tc | h                              | $Tc = 0.87 Lc^3 / (H_{max} - H_{min})^{0.385}$ |
| <b>Tiempo de Concentración (Témez, 1978)</b>      | Tc | h                              | $Tc = 0.3 * (Lc / S^{0.25})^{0.76}$            |
| <b>Tiempo de Concentración (Bransby-Williams)</b> | Tc | h                              | $Tc = (Lc / 1.5D)^5 \sqrt{A^2 / S}$            |
| <b>Tiempo de Concentración Clark Guaire</b>       | Tc | h                              | $Tc = 0.335 * (A / S^{0.5})^{0.593}$           |

---

Fuente. Rivera H (2020)

### ***6.2.2 Caracterización Geológica Y Geomorfológica De La Parte Alta Del Río Pamplonita***

La caracterización geológica y geomorfológica se llevó a cabo a través de visita a campo con el acompañamiento del Geólogo Jesús Ramón Delgado a la cuenca El Rosal en la que se registró la orientación de algunas rocas representativas (Figura 8a), también se observó material de arrastre como algunos bloques considerables y gravas gruesas que han sido depositadas por crecientes pasadas. Para ello, se determinó el volumen aproximado de los mismos (Figura 8b). La caracterización geológica y geomorfológica se complementó con la recopilación de información secundaria como el PBOT del Municipio y el mapa Geológico de Colombia 2015 a Escala 1:1 000 000 del Servicio Geológico Colombiano.

### **Figura 8**

*Caracterización geológica y geomorfológica de la zona de estudio*



Fuente. Rivera H (2020)

### ***6.2.3 Cobertura Vegetal Y Uso Del Suelo De La Parte Alta Del Río Pamplonita***

El análisis de cobertura vegetal se llevó a cabo con imágenes del satélite Landsat 8 del Servicio Geológico de los Estados con nubosidad menor al 30% (Figura9). Posteriormente, se trataron las bandas en el software ArcGis versión 10.4, mediante un análisis espectral con la combinación de las bandas correspondientes a color natural para Landsat 8 (4,3,2) según el USGS. A partir de lo anterior, se realizó una clasificación supervisada identificando 6 tipos de cobertura predominante en la zona incluidas en la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (2010). Además, esta información fue corroborada por medio de visitas a campo.

### **Figura 9**

*Landsat 8 de la Zona de estudio.*



Fuente. USGS (2020)

### **6.3 Levantamiento De Información Hidrométrica En La Zona De Estudio**

#### ***6.3.1 Curvas IDF De Pamplona En La Parte Alta Del Río Pamplonita***

Para el análisis de la precipitación de la zona de estudio se utilizó la información de valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas desde 1987 a 2017, de la estación del ISER PAMPLONA con código 16015020 y la curva IDF fueron suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Posteriormente, se obtuvieron los datos faltantes por el método de proporciones normales de la misma estación.

#### ***6.3.2 Hietogramas Parte Alta Del Río Pamplonita***

A partir de las curvas IDF suministradas por el IDEAM, se obtuvieron los Hietogramas se realizaron para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años. Seguidamente, se

calculó el valor de precipitación acumulada y precipitación alterna, con las cuales se obtienen los hietogramas de acuerdo a la duración de la lluvia.

### ***6.3.3 Hidrogramas Parte Alta Del Río Pamplonita***

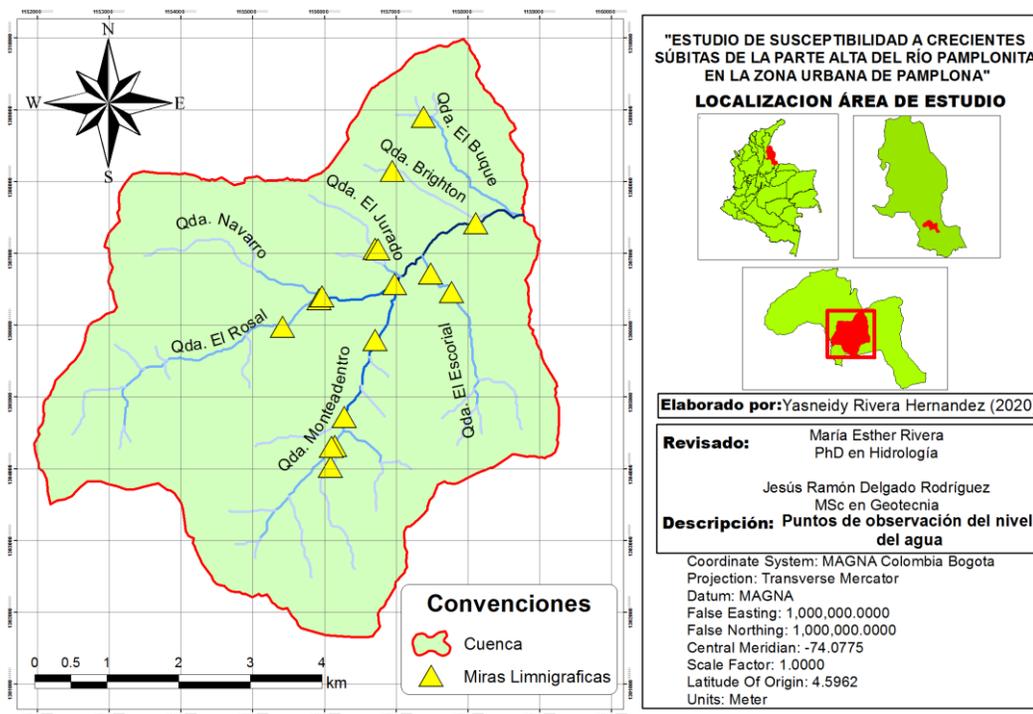
Los hidrogramas fueron obtenidos mediante el software Hec-HMS 4.2.1 versión libre y gratuita. Para ello, se utilizaron las precipitaciones en milímetros (mm) correspondientes a los periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años obtenidas en la elaboración de los hietogramas.

### ***6.3.4 Nivel De Agua En La Parte Alta Del Río Pamplonita***

Los niveles de la lámina de agua se registraron en las Quebradas Monteadentro, Rosal, Navarro, Jurado, Escorial, Brighthon, El Buque y el tramo de estudio de la parte Alta del Río Pamplonita en puntos estratégicos por medio de reglas limnimétricas con una longitud de 1m siguiendo las indicaciones expuestas para su construcción e instalación del Reglamento Técnico, Volumen III, Hidrología OMM–N° 49 y en la Guía de Prácticas Hidrológicas OMM–N° 16. Este registro se llevó a cabo en 16 puntos de observación como se muestra a continuación en la Figura 10.

### **Figura 10**

*Ubicación de Miras Limnimétricas en la Zona de Estudio*



Fuente. Elaborado en ArcGis por Rivera H (2020)

Se realizó la respectiva instalación de las miras en cada uno de los afluentes y el tramo de estudio del río Pamplonita. Cinco (5) miras se ubicaron en la quebrada Monteadentro, la cual ha presentado crecientes extremas provocando múltiples consecuencias. Los datos fueron registrados durante 65 días, con una observación diaria entre las horas 6:00-9:00 am.

### ***6.3.5 Levantamiento De Secciones Transversales Y Sedimentos En La Parte Alta Del Río Pamplonita***

El levantamiento de las secciones transversales se realizó en el tramo de estudio del río Pamplonita y en cada uno de los afluentes de la Parte Alta como son Monteadentro, Rosal, Navarro, Jurado, Escorial, Brighthon y El Buque cuyas herramientas utilizadas fueron cinta métrica, regla y libreta de campo. Las secciones fueron tomadas en las Quebradas Monteadentro, Rosal y Navarro cada 50m dado que estas son las de mayor Longitud, el tramo de estudio del Río

Pamplonita cada 30m y las demás Quebradas entre cada 20-30m. En la Figura 11a y 11b se observa el levantamiento de las secciones transversales en las quebradas Teorama y Cerrejones respectivamente las cuales son los dos (2) afluentes principales de la quebrada Monteadentro (f Figura 11c) y la Figura 11d corresponde al tramo en estudio del río Pamplonita.

### Figura 11

#### *Levantamiento de Secciones Transversales en la Zona*



Fuente. Rivera H (2020)

Se midió la elevación de la lámina de agua, las planicies de inundación en donde se levantó la sección transversal; por ejemplo, en la quebrada Navarro (Figura 12) se registró el ancho de la planicie de inundación derecha e izquierda.

**Figura 12***Planicies de Inundación*

Fuente. Rivera H (2020)

En cada sección levantada se registró el tipo de material tanto en los márgenes como en el fondo del cauce para la posterior determinación de rugosidad de Manning a través de tablas. Por ejemplo, margen derecho de la quebrada Navarro (Figura 13a), margen derecho de la quebrada Monteadentro en el sector de la Normal Superior (Figura 13b), el material del fondo del cauce, Figura 13c. En la Figura 13d y 13e se observa la rugosidad del tramo en estudio del río Pamplonita en el sector del ICA y el colegio Provincial respectivamente.

**Figura 13***Tipo de material en los márgenes y fondo del cauce*



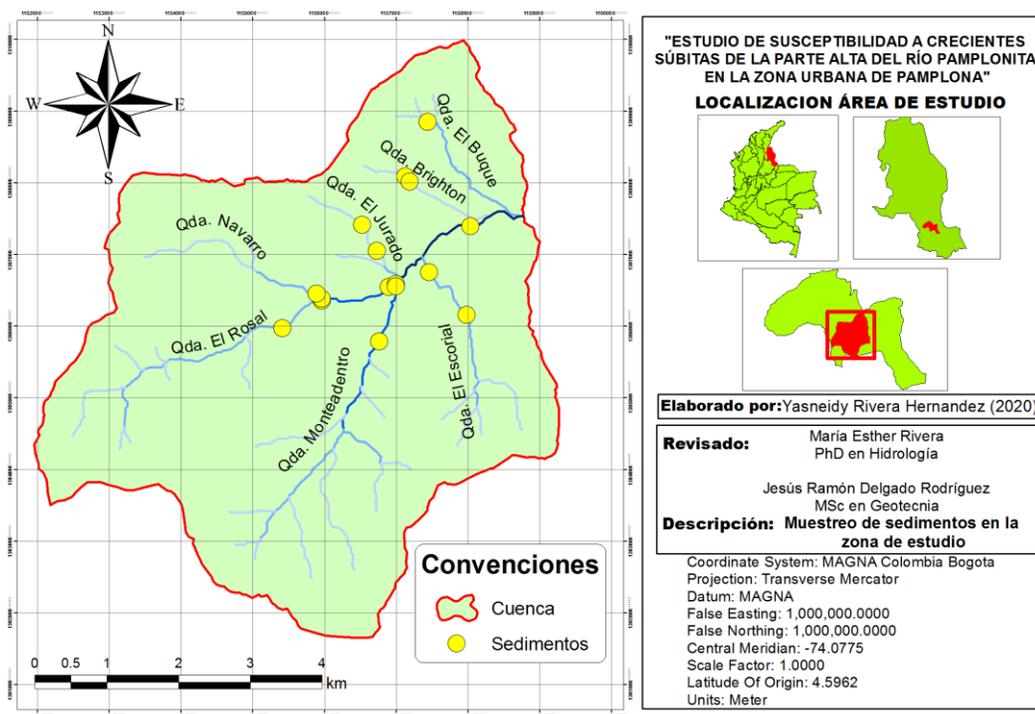
Fuente. Rivera H (2020)

Para el muestreo de sedimentos, se tomaron puntos de fácil acceso, donde se depositan gran cantidad de sedimentos que son arrastrados por los eventos de lluvias extremas.

En la Figura 14 se observan 16 puntos de muestreo de sedimentos. Para ello, se aplicó la técnica de Cuarteo manual de muestras según las Normas y especificaciones 2012 INVIAS, I.N.V. E – 104; en la primera parte se realizó la demarcación de un área en sentido perpendicular al cauce (Figura 15a) mediante el uso de cinta métrica, palustre y gramera con el fin de registrar el peso de la muestra In situ (Figura 15b). Posteriormente, se realizó el secado de las mismas para realizar la prueba de Granulometría. La segunda parte consistió en registrar las dimensiones de algunos sedimentos de mayor tamaño y más representativos del lugar para determinar un volumen aproximado (Figura 15c).

**Figura 14**

*Muestreo de Sedimentos en la Zona de Estudio*



Fuente. Elaborado en ArcGis por Rivera H (2020)

**Figura 15**

*Muestreo de sedimentos en la Zona de Estudio.*



Fuente. Rivera H (2020)

La granulometría se realizó en el laboratorio de Suelos de la Universidad de Pamplona según la metodología adoptada por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S). Para ello, se utilizó la serie de Tamices número 4, 16, 40, 80, 100, 140, 200, el fondo y la balanza digital. Allí se tomó la muestra totalmente seca, registrándose el peso de la misma, de cada uno de los tamices y el fondo, Figura 16a. Cada muestra se dejó en el Tamizador por 10min (Figura 16b) y se registró el peso retenido de cada tamiz, Figura 16c.

### Figura 16

*Prueba de granulometría en laboratorio de Suelos Universidad de Pamplona.*



Fuente. Rivera H (2020)

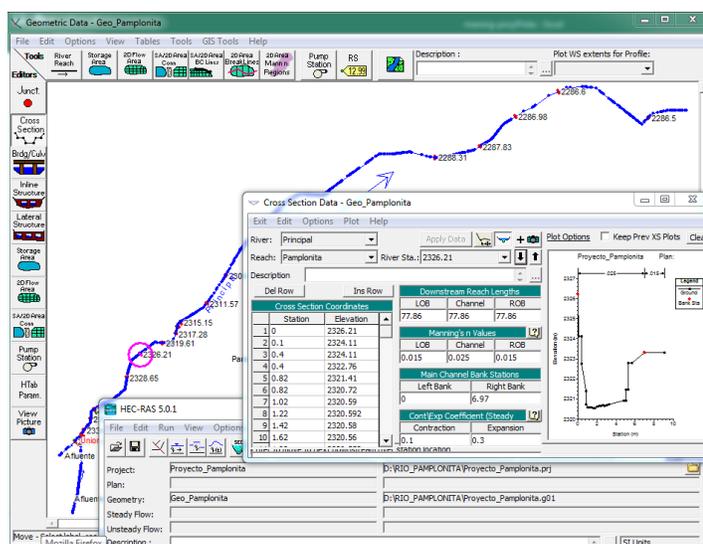
### Modelación de las secciones transversales

La modelación de las secciones transversales se realizó a partir de la geometría exportada del cauce del software ArcGIS 10.4 obtenida mediante la extensión Hec-GeoRas con las herramientas Stream centerline, Bank lines, flow path centerlines, XS cut lines; posteriormente se asignaron los atributos al río y las secciones transversales a través de Stream centerline attributes y XS cut lines attributes respectivamente. Para la obtención de los atributos fue necesario obtener un diagrama de Triangulación (TIN) obtenido de las curvas de nivel con un intervalo de 1 metro, estas a su vez se generaron a partir de un Modelo Digital de Elevación

(DEM) con resolución de 15 metros del satélite ALOS PALSAR. Posteriormente, la geometría fue exportada al software libre Hec-RAS 5.0.1, allí se corrigieron de acuerdo a la información levantada en campo con los valores de las planicies de inundación, lámina de agua, rugosidad de Manning correspondiente al tipo de material de los dos márgenes y fondo del cauce tal como se evidencia en la Figura 17.

**Figura 17**

*Modelación de secciones*



Fuente. Elaborado en Hec-RAS por Rivera H (2020)

#### 6.4 Levantamiento De Información De Caudales Presentes En La Zona De Estudio

La información de caudales de la zona de estudio se levantó a través de un medidor de velocidades de flujo “Global Water FP 111” con la colaboración de Don Gerardo Carvajal. Se realizaron mediciones en el tramo de estudio del Río Pamplonita (Figura 18a), las quebradas Monteadentro y El Rosal (Figura 18b); para estas mediciones se utilizaron: estacas, pita, cinta métrica, regla, medidor de velocidades y libreta de campo. Escogiéndose un tramo uniforme en el cual se hizo el levantamiento de la sección transversal correspondiente, se registró la velocidad

del flujo en varios puntos de la sección y posteriormente se realizaron los cálculos del caudal a partir de área por velocidad.

### Figura 18

*Medición de Caudal.*



Fuente. Rivera H (2020)

### 6.5 Identificación De Áreas Susceptibles A Los Eventos De Crecientes Súbitas

Las áreas susceptibles a inundaciones se identificaron mediante la modelación en Hec-RAS para lo que fue necesario incluir toda la información de las secciones transversales, los caudales para los diferentes tiempos de retorno (25, 50, 100 y 500 años), valores de condiciones iniciales como la pendiente y el caudal medido en campo y se corrió el programa en flujo no permanente o no estacionario debido a las características de la zona de estudio.

## **7. Resultados Y Discusión**

De acuerdo a la metodología descrita anteriormente, para el tramo en estudio de la Parte alta de la Cuenca del Río Pamplonita se obtuvieron los siguientes resultados:

### **7.1 Reconocimiento De La Zona De Estudio Y Diagnóstico De Los Factores Incidentes A Crecientes Súbitas En La Parte De Alta De La Cuenca Del Río Pamplonita**

#### ***7.1.1 Reconocimiento De La Zona De Estudio***

En la Figura 19a en la parte más alta de la quebrada Teorama afluente de Monte dentro se observan árboles caídos sobre el cauce. De igual manera, es evidente el gran arrastre de sedimentos como grava y bolos (Figura 19b); otro problema presente es la socavación de los márgenes del cauce en varios puntos como en la quebrada Monte dentro (Figura 19c). Por otro lado, daños en infraestructura en el sector de la Institución Normal Superior de Pamplona (Figura 19d).

Por otra parte, el canal abierto del río Pamplonita presenta daños al muro lateral derecho como producto de la socavación mostrado en la Figura 19e, la quebrada Volcán también ha presentado arrastre de sedimentos desde arenas finas hasta bloques de múltiples tamaños (Figura 19f).

Según las Figura 19g, 19h, 19i los afluentes Escorial, Jurado y el Buque son quebradas cuya cobertura vegetal es bastante densa y alta. Se observó que la parte baja de la quebrada Escorial cuenta con un canal rectangular abierto en el Sector de Barrios Unidos (Fotografía 9g). Por otro lado, Brighton y El Buque cuentan con canales cerrados en los tramos finales que se encuentran dentro de la cabecera municipal.

#### **Figura 19**

*Reconocimiento de la Zona de estudio*





Fuente. Rivera H (2020)

### *7.1.2 Diagnóstico De Los Factores Incidentes A Crecientes Súbitas En La Parte De Alta De La Cuenca Del Río Pamplonita*

El diagnóstico se realizó a través de encuestas a la población de la zona (Figura 20, Apéndice b) que permitió conocer información sobre los factores que desencadenan las crecientes, tipos de coberturas, niveles de agua alcanzados, consecuencias, entre otros.

#### **Figura 20**

*Aplicación de Encuestas en la Vereda Monteadentro.*

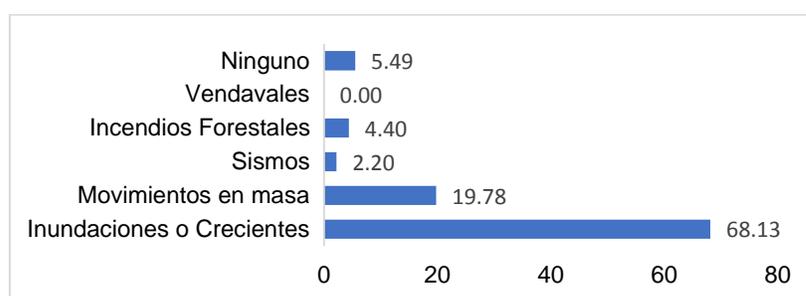


Fuente. Rivera H (2020)

De acuerdo con la encuesta aplicada, se determinó que el tipo de emergencia que se ha presentado en la zona son las crecientes e inundaciones como se evidencia en la Figura 21, obteniéndose el 68,13% de los resultados, valor significativo para la realización de esta investigación debido a que el objeto de estudio son las crecientes en la zona.

### Figura 21

*Tipos de Emergencia presentados en la zona*

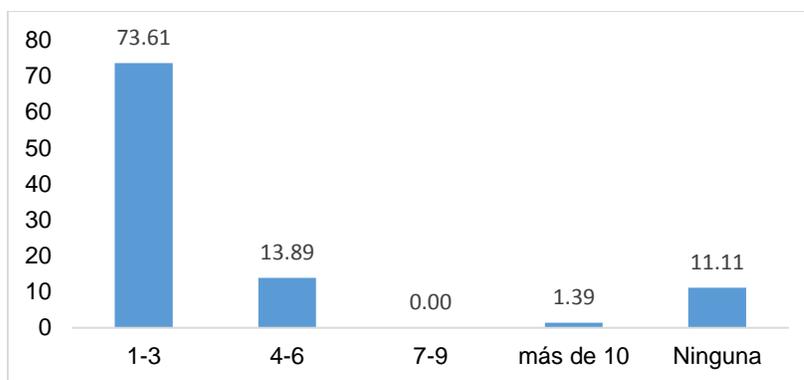


Fuente. Rivera H (2020)

De acuerdo a la respuesta anterior, las crecientes son el tipo de emergencia que se ha presentado en la zona, por ello se buscó conocer cuántas crecientes se han presentado; el rango entre 1 y 3 crecientes en los últimos 10 años fue el mayor puntaje siendo el 73, 61% de los resultados como se muestra en la Figura 22; es decir, que se presentan crecientes aproximadamente cada tres años a partir de la opinión de la comunidad.

### Figura 22

*Crecientes en los últimos 10 años*

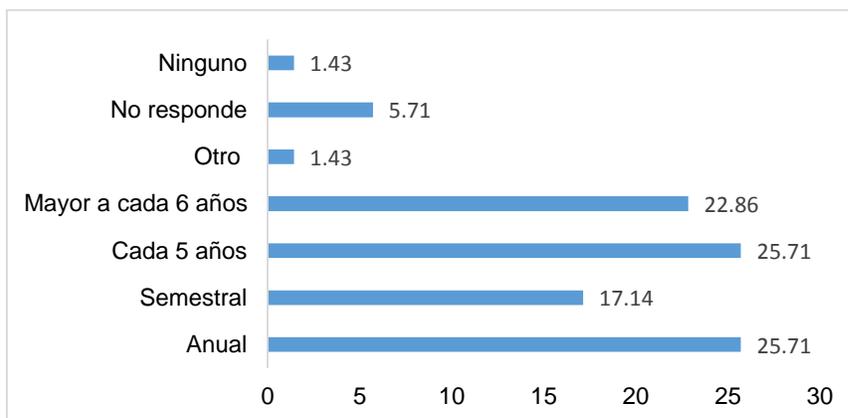


Fuente. Rivera H (2020)

Al momento de hablar de precipitación es necesario conocer la frecuencia. Por lo anterior, se consideró importante la opinión de los habitantes de la zona con respecto a la frecuencia en que se presentan estos eventos, allí se obtuvo que la frecuencia coincide con la frecuencia de cada 5 años con el 25,71% de los resultados tal como se evidencia en la Figura 23.

### Figura 23

*Frecuencia de crecientes en el área de estudio*



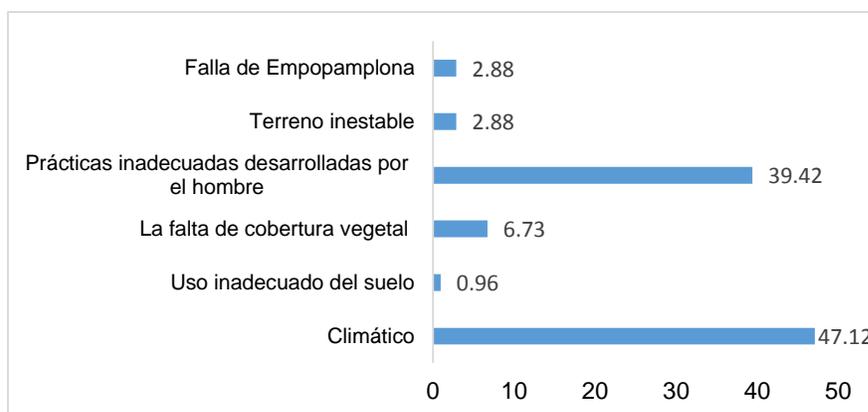
Fuente. Rivera H (2020)

Respecto a las principales causas y factores que han dado lugar a las crecientes se muestran los resultados en la Figura 24, donde la principal causa se le atribuye al factor climático

con un valor de 47,12% de los resultados y la segunda causa son las practicas inadecuadas desarrollados por el hombre con porcentaje significativo de 39,42%.

### Figura 24

#### *Causas de las Crecientes*

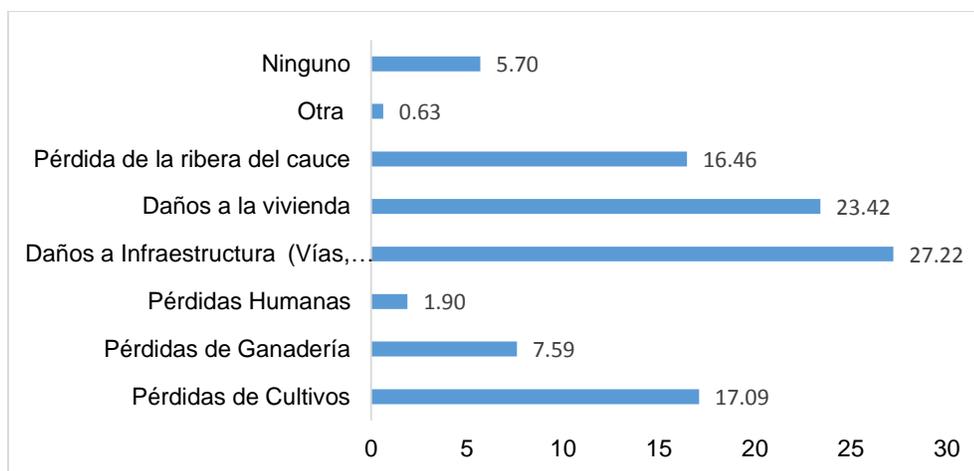


Fuente. Rivera H (2020)

Se identificaron las pérdidas ocasionadas por las crecientes en las que generalmente han sido económicas como daños a infraestructura (vías y puentes) con el 27,22%, daños a viviendas con el 23.42% y perdidas de cultivos con el 17.09% de los resultados tal como se evidencia en la Figura 25.

### Figura 25

#### *Pérdidas como consecuencia de las Crecientes.*

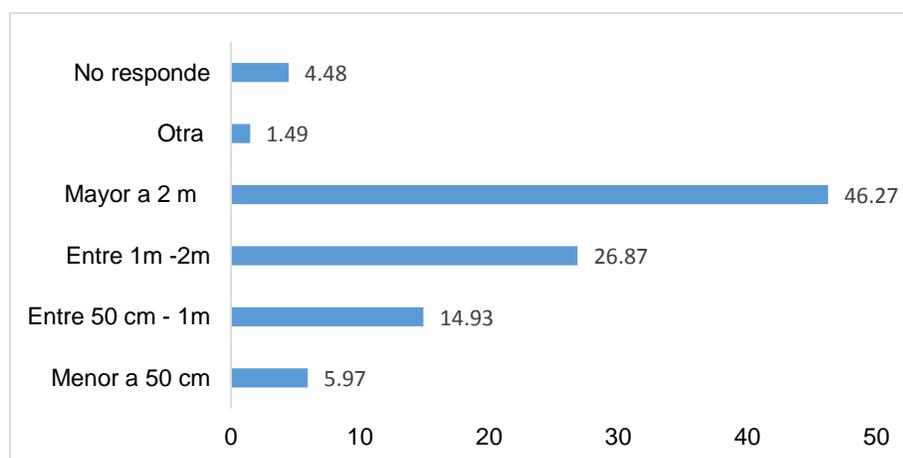


Fuente. Rivera H (2020)

Adicionalmente, se conoció el aumento del nivel del agua alcanzado por las crecientes, siendo de gran interés dado que el 46,27% respondió que era superior a los 2m, el 26,87% dijo que entre 1-2m y el 14,93 entre 50cm y 1m (Figura 26).

**Figura 26**

*Niveles de agua alcanzados por las Crecientes.*

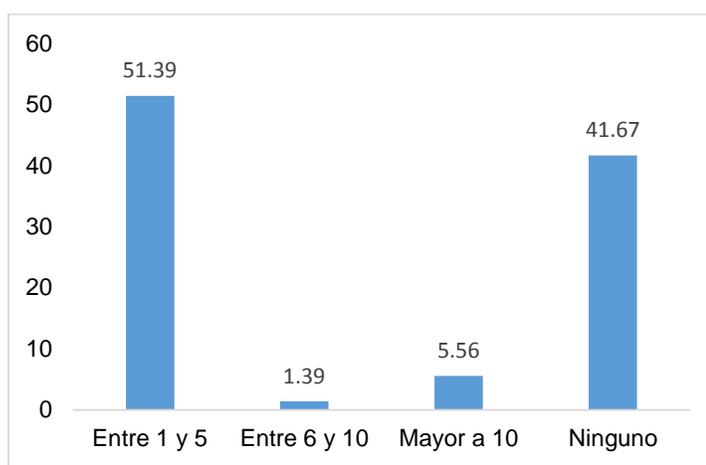


Fuente. Rivera H (2020)

En la Figura 27 se observa la cantidad de puntos críticos con mayor probabilidad de desborde de la lámina de agua, siendo entre 1-5 puntos, obteniéndose el 51,39% de las respuestas.

### Figura 27

*Puntos críticos con mayor probabilidad de desborde del cauce.*

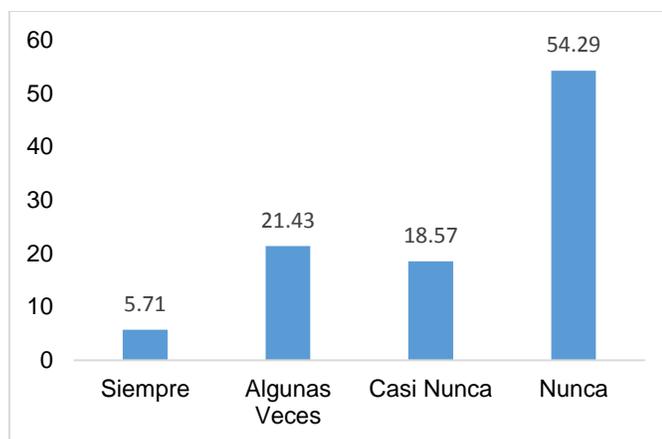


Fuente. Rivera H (2020)

La deforestación es una de las actividades antrópicas de carácter destructivo que al tener la incidencia de la lluvia genera incremento de sedimentos y colmatación en puntos críticos. Según la encuesta, en la Figura 28 se observa que nunca se ha realizado esta actividad con el 54,29%, algunas veces con 21,43%, casi nunca con el 18,57% y siempre con el 5,71%. A pesar de los resultados obtenidos cabe resaltar que esta actividad si se realiza tal, como se mostraba en el apartado de reconocimiento de la zona debido a que grandes extensiones se han dedicado a la agricultura.

### Figura 28

*Frecuencia De Actividades De Deforestación*

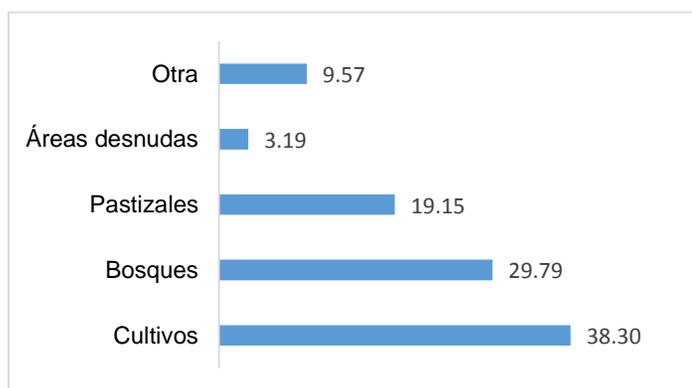


Fuente. Rivera H (2020)

En la Figura 29 se obtuvo que el tipo de cobertura vegetal predominante en la zona son cultivos con el 38,3%; la cual se infiere que se han realizado actividades de deforestación para el acondicionamiento del terreno, por ende, se evidencia la inconsistencia del resultado obtenido en la pregunta anterior. El porcentaje 9,57 correspondiente a la respuesta “otra” que se refiere a áreas urbanizadas.

### Figura 29

*Tipo De Cobertura Vegetal.*

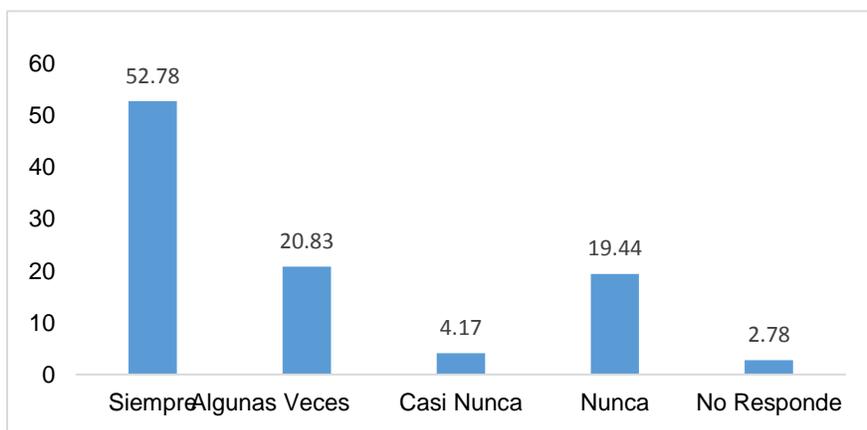


Fuente. Rivera H (2020)

De acuerdo con las crecientes que se han presentado, en este diagnóstico se conoció el interés y apoyo que se tienen por parte de las autoridades competentes ante estas emergencias, siendo positivo como se observa en la Figura 30, dado que obtuvo un porcentaje del 52,78.

**Figura 30**

*Interés De Entidades Competentes Cuando Se Han Presentado Crecientes*

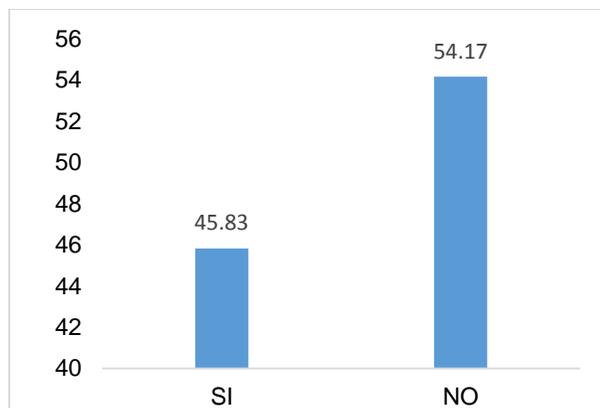


Fuente. Rivera H (2020)

En la Figura 31 se observa que muchos de los habitantes de la zona de estudio no tienen conocimiento sobre las medidas de prevención ante las crecientes.

**Figura 31**

*Tenencia De Conocimiento En Los Habitantes Sobre Medidas De Prevención Y Gestión Del Riesgo Ante Crecientes.*



Fuente. Rivera H (2020)

Se determinó que una de las mayores crecientes ocurridas fue en noviembre del 2017 dejando múltiples consecuencias; cuyo factor detonante fueron las lluvias extremas que se presentaron en esos días. En la Figura 32a se muestra el arrastre de grandes bloques, troncos y sedimentos que fueron depositados sobre la vía por parte de la quebrada Teorama. Además, de la afectación a una vivienda aledañas (Figura 32b) y daños a la infraestructura tanto en la carretera (Figura 32c) como la destrucción total del puente y la pérdida de la banca producto de la socavación en la vía de la vereda Monte dentro aguas abajo de la unión de los afluentes Teorama y Cerrejones, Figura.32d

### Figura 32

*Consecuencias de la Creciente del 14 de noviembre De 2017 en la Vereda Monte dentro*





Fuente. Flórez (2017)

## 7.2 Caracterización Morfométrica, Geológica, Geomorfológica, Cobertura Vegetal Y Uso Del Suelo Del Área De Estudio

### 7.2.1 Caracterización Morfométrica De La Parte Alta Del Río Pamplonita

Las características morfométricas son fundamentales para conocer las condiciones del relieve y comportamiento hidrológico de la cuenca (tabla 4).

**Tabla 4**

#### *Características Morfométricas De La Parte Alta Del Río Pamplonita*

| CARACTERISTICAS MORFOMETRICAS DE LA CUENCA    |         |                 |         |
|-----------------------------------------------|---------|-----------------|---------|
| PARAMETRO                                     | SIMBOLO | UNIDAD          | VALOR   |
| <b>GENERALES</b>                              |         |                 |         |
| Área                                          | A       | km <sup>2</sup> | 35.89   |
| Perímetro                                     | P       | km              | 27.81   |
| Longitud Axial                                | LA      | km              | 7.73    |
| Longitud Cauce Principal del tramo en estudio | Lcp     | km              | 2.30    |
| Ancho promedio                                | b       | km              | 5.70    |
| Ancho Máximo                                  | bmax    | km              | 7.05    |
| Pendiente media de la cuenca                  | S       | %               | 22.96   |
| <b>COTAS</b>                                  |         |                 |         |
| Altura mínima                                 | Hmin    | msnm            | 2286.76 |
| Altura Máxima                                 | Hmax    | msnm            | 3655    |
| Altura media                                  | Hmed    | msnm            | 2971    |
| <b>FORMA DE LA CUENCA</b>                     |         |                 |         |

|                                                 |     |                                  |       |
|-------------------------------------------------|-----|----------------------------------|-------|
| <b>Factor forma de Horton</b>                   | Kf  | km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> | 0.60  |
| <b>Coefficiente de compacidad</b>               | Kc  | km/km                            | 1.31  |
| <b>Razón de elongación</b>                      | Re  | km/km                            | 0.87  |
| <b>SISTEMA DE DRENAJE</b>                       |     |                                  |       |
| <b>Orden</b>                                    | Ord | und                              | 4     |
| <b>Longitud red hídrica o de los cauces</b>     | ∑lc | km                               | 41.76 |
| <b>Densidad de drenaje</b>                      | Dd  | km <sup>-1</sup>                 | 1.16  |
| <b>Índice de alargamiento</b>                   | Ia  | km/km                            | 1.10  |
| <b>Índice de Homogeneidad</b>                   | Ih  | km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> | 0.66  |
| <b>Frecuencia de Talwegs</b>                    | Fr  | km <sup>-2</sup>                 | 0.98  |
| <b>Relación de Bifurcación</b>                  | Rb  | und/und                          | 3.50  |
| <b>Superficie umbral de escurrimiento</b>       | Es  | km                               | 0.86  |
| <b>Coefficiente orográfico</b>                  | Co  | m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>   | 0.25  |
| <b>Coefficiente de Masividad</b>                | Cm  | msnm/km <sup>2</sup>             | 82.77 |
| <b>Tiempo de concentración Kirpich (1940)</b>   | Tc  | h                                | 0.58  |
| <b>Tiempo de Concentración California</b>       | Tc  | h                                | 0.62  |
| <b>Tiempo de Concentración Témez (1978)</b>     | Tc  | h                                | 0.75  |
| <b>Tiempo de Concentración Bransby-Williams</b> | Tc  | h                                | 1.70  |
| <b>Tiempo de Concentración Clark</b>            | Tc  | h                                | 4.33  |

Fuente. Rivera H (2020)

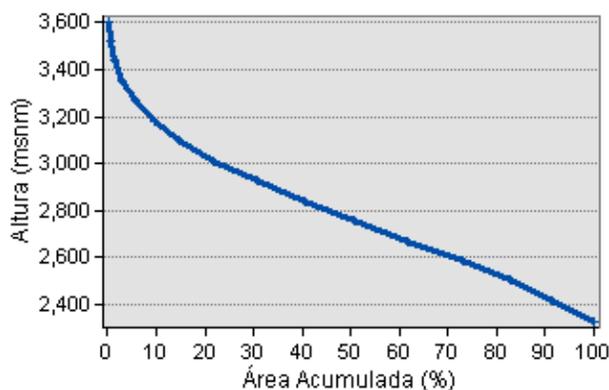
De acuerdo con la tabla 3, se infiere que la red de drenaje, es una cuenca dendrítica según CEOTMA (1981) porque muestra una ramificación arborescente cuyos afluentes se unen a la corriente principal formando ángulos agudos de forma irregular. El área de estudio a partir del factor forma es una cuenca ensanchada acorde a la clasificación de Pérez (1979); por el coeficiente de compacidad (Gaspari et al,2012) su forma es de Oval redonda a oval oblonga, que se confirma con el índice de alargamiento debido a que este corresponde a poco alargada. Asimismo, la densidad de drenaje es moderada según Delgadillo y Páez (2008); es decir, que la respuesta hidrológica es moderada teniendo en cuenta que la longitud del cauce principal del tramo en estudio es corta. Por otra parte, según Pérez (1979) y Ortiz (2004) de acuerdo a la clasificación de pendiente media de la cuenca el tipo de relieve es fuertemente ondulado o fuertemente inclinado; la relación de bifurcación indica que es una cuenca mediana y el

coeficiente de masividad según el Instituto Nacional de Ecología (2004) indica que es una cuenca muy montañosa.

De la Figura 33 se infiere que la cuenca está en una etapa de equilibrio, es decir, en etapa de madurez la cual indica la presencia de zonas tanto erosionadas como otras en las que se deposita gran cantidad de sedimentos.

### Figura 33

*Curva Hipsométrica Del Tramo En Estudio De La Parte Alta Del Río Pamplonita.*

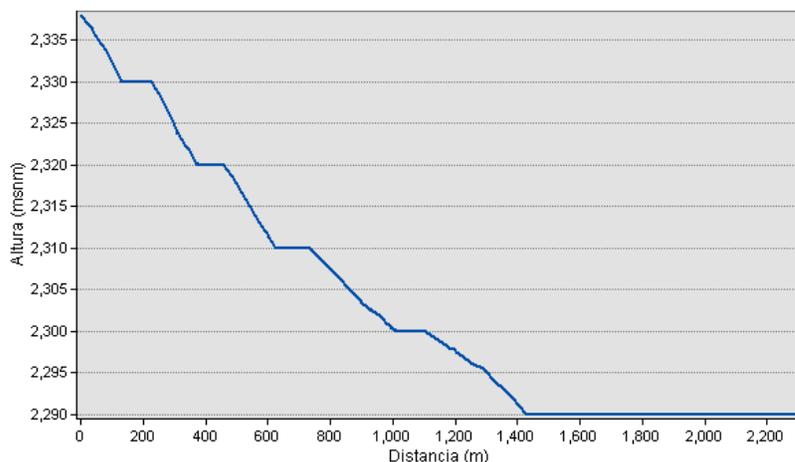


Fuente. Elaborado en ArcGis por Rivera H (2020)

En el perfil longitudinal (Figura 34) del tramo en estudio del río Pamplonita se observa que la altura varía entre 2336 y 2286.5 presentándose una pendiente del cauce del 2.2% que se clasifica en pendiente ligeramente suave según (MOPUT, 1991) provocando el incremento de la acumulación de sedimentos.

### Figura 34

*Perfil Longitudinal Del Tramo En Estudio Del Río Pamplonita*



Fuente. Elaborado en ArcGis por Rivera H (2020)

### ***7.2.2 Caracterización Geológica Y Geomorfológica De La Parte Alta Del Río Pamplonita***

En la visita a campo se observaron macizos rocosos muy fracturados (Figura 35a), arenisca de grano fino a medio (Figura 35b), zona falladas rocas duras, rocas blandas plegadas con orientación vertical (Figura 35c), Calizas con talacinoideas (Figura 35d), allí es evidente la oxidación de micas en fragmentos de arenisca presentándose como limonita color ocre (Figura 35e). Además, se identificó la formación Tibú-Mercedes a partir de calizas negras (Figura 35f) y gris claro (Figura 35g) y se reconocieron rocas de la formación Aguardiente debido a la escasa presencia de micas en algunos sectores apreciando material de color crema cuarzosa (Figura 35h).

Así mismo, en esta zona el proceso de meteorización es evidente, allí también se apreciaron esporitas, feldspatos, fragmentos fósiles como lumaquelicas, entre otros. Por otra parte, se observaron bloques de tamaños significativos con diámetros superiores a un metro indicando la presencia de flujos torrenciales años atrás.

### **Figura 35**

*Geología De La Zona De Estudio*



Fuente. Rivera H (2020)

En la Figura 36 se observa la geología de la zona de estudio, donde se evidencian algunas unidades crono estratigráficas como E3-Sc que corresponde a areniscas conglomeraticas y conglomerados, arenitas arcillolíticas y carbones presentes en el 13.13% de la zona, N6n7-Sc cuya descripción son arenitas líticas a sublíticas, arenitas conglomeraticas, limolitas y arcillolitas abigarradas y cubre el 22.29% del área. Arenitas tobaceas y diatomitas, J-Pi pertenece al 18.48% del área total siendo Granodioritas que varían de sienogranitos a tonalitas y de cuarzomonzonitas a cuarzomonzodioritas, la unidad K1k6-Stm predomina en la zona debido a que corresponde al 30.89% del área total, esta formación son calizas, fosforitas y cuarzoarenitas, PZ-Sm corresponde a rocas sedimentarias marinas del Paleozoico y se encuentra en el 7.92% de la zona; por último, la unidad OS1-Mmg son ortogneises graníticos a tonalíticos y paragneises de composición anfibolítica y textura migmatítica correspondiendo al 5.89% del área de estudio.

### **Figura 36**

*Geología de la zona de estudio*

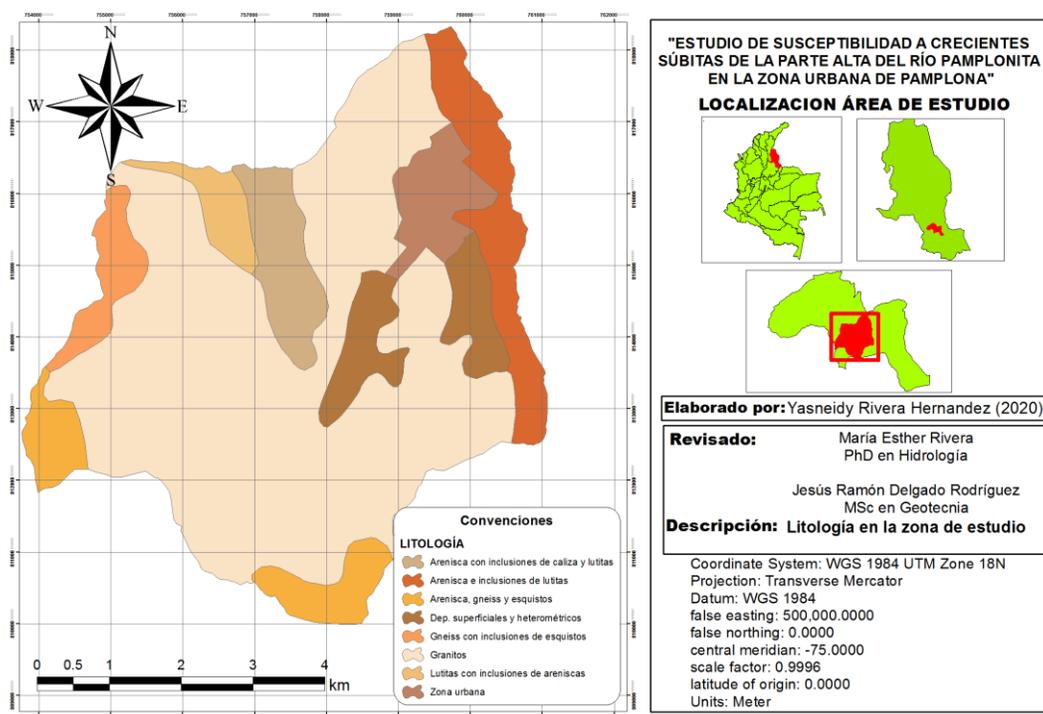


Fuente. Elaborado en ArcGis por Rivera H (2020) a partir de información obtenida del Servicio Geológico Colombiano (2015)

En la Figura 37 se muestra la litología de la zona en la que se encuentran arenisca con inclusiones de caliza y lutitas, arenisca e inclusiones de lutitas, gneiss y esquistos, depósitos superficiales, clásticos, gravigenicos e hidrogravigenicos, coluviones heterométricos, gneiss con inclusiones de esquistos, granitos y lutitas con inclusiones de areniscas.

**Figura 37**

*Litología de la zona de estudio*



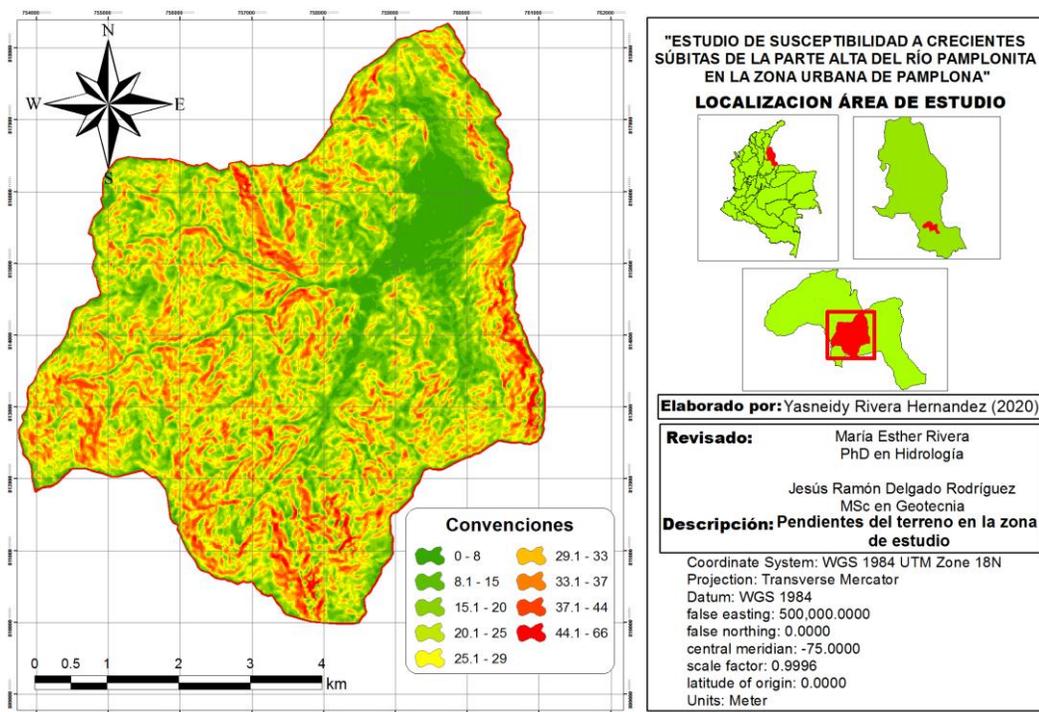
Fuente. Elaborado en ArcGis por Rivera H (2020) a partir de información obtenida del Servicio Geológico Colombiano (2015)

Por otra parte, se obtuvo el mapa de pendientes del terreno (Figura 38) evidenciándose que en la zona predominan pendientes menores al 25%, es decir, de ligeramente ondulada a fuertemente ondulada según la clasificación del IGAC (2014) no obstante, se aprecian sectores

con pendientes ligeramente escarpada a moderadamente escarpada o moderadamente empinada del orden 25.1-66%, siendo estas las de mayor inclinación.

**Figura 38**

*Pendiente del Terreno en la Zona de Estudio.*



Fuente. Elaborado en ArcGis por Rivera H (2020)

### 7.2.3 Cobertura Vegetal Y Uso Del Suelo De La Parte Alta Del Río Pamplonita

En la zona de estudio de acuerdo a la clasificación supervisada se observaron 6 tipos de cobertura predominantes, Figura 40. En la categoría de territorios agrícolas se evidenciaron las siguientes coberturas: cultivos transitorios (Figura 39a) debido a que en la zona el ciclo vegetativo es menor a un año; por ejemplo, el maíz (Figura 39c), alverja, papa, fresa, entre otros y otra cobertura son los pastos limpios donde su porcentaje de cubrimiento supera al 70%. En esta misma categoría también se evidencia pastos enmalezados debido a que hay zonas

representadas por tierras con pastos y malezas como vegetación secundaria, producto de escasa realización de prácticas de manejo o abandono. Además, en esta categoría se encuentra la cobertura de tierras desnudas y degradadas perteneciente a la subcategoría de áreas abiertas, sin o con poca vegetación que se apreció en la zona correspondiente a las superficies desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema. La cobertura arbustal denso (Figura 39b) que se ubica en la categoría de bosques y áreas seminaturales, cuya subcategoría son áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva haciendo referencia a la cobertura dominada por arbustos y herbazales donde la intervención ha sido selectiva según el IGAC (1999). Finalmente, se encuentra la cobertura referente a territorios artificializados específicamente zonas urbanizadas donde a su vez, a lo largo del canal y zonas aledañas se observa pasto, maleza, arbustos y arboles como en el sector del Batallón y la Plazuela Almeida, fotografía Figura 39d y 39e respectivamente.

### Figura 39

#### *Cobertura Vegetal De La Zona De Estudio*

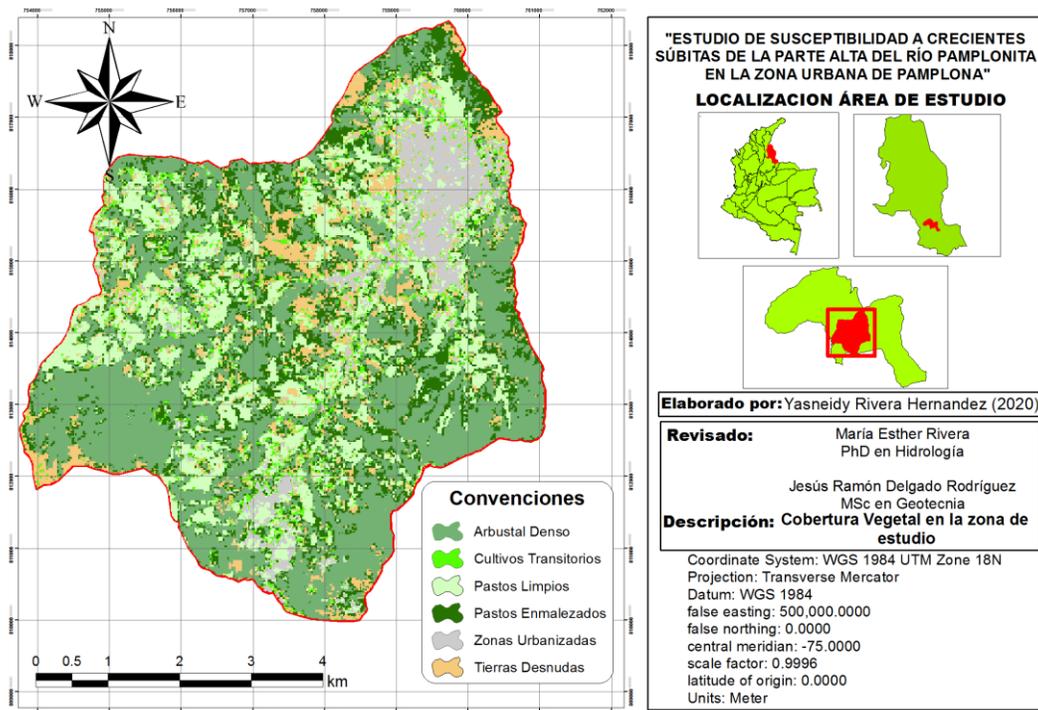




Fuente. Rivera H (2020)

**Figura 40**

*Cobertura Vegetal En La Zona De Estudio.*



Fuente. Elaborado en ArcGIS por Rivera H (2020)

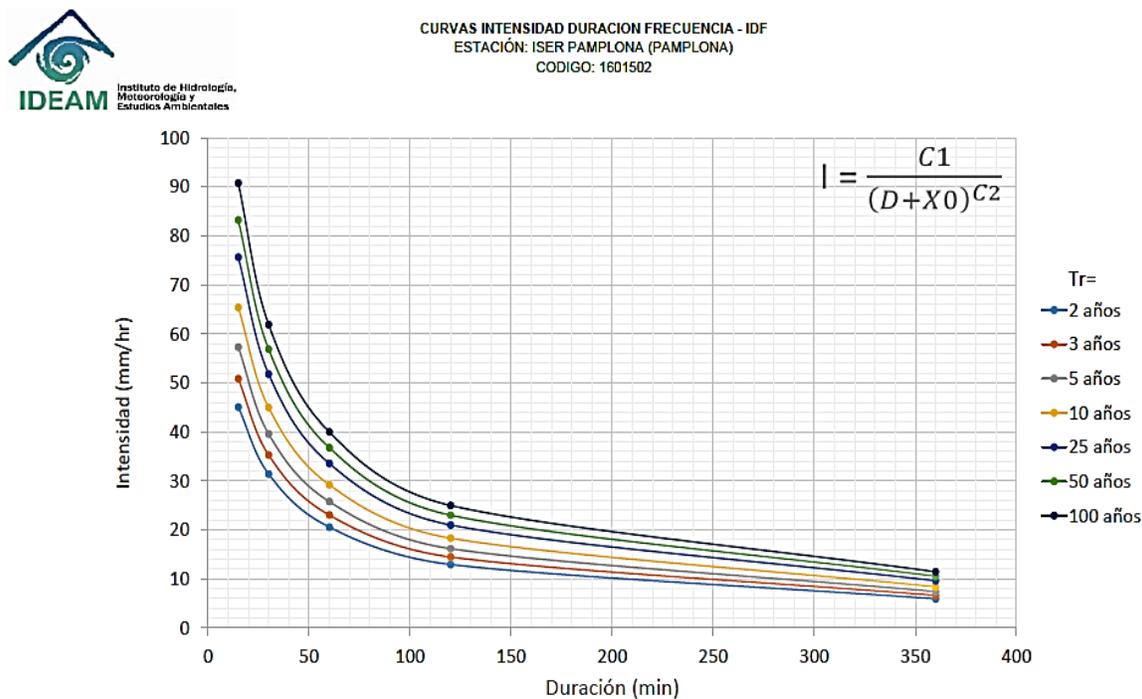
## 7.3 Levantamiento De Información Hidrométrica En La Zona De Estudio

### 7.3.1 Curvas Idf Pamplona

En la Figura 41 se muestran las curvas IDF de la estación ISER Pamplona obtenidas del IDEAM a través de la probabilidad Gumbel; como resultados se tiene por ejemplo, para el periodo de retorno de 2 años se cuentan con intensidades de los 5.7 mm/h correspondiente a la duración de 360 minutos hasta 45.1 mm/h en 15 min, en esta grafica se aprecia que la relación entre la duración e intensidad es inversa y para el periodo de retorno e intensidad de precipitación es directa tal que para el periodo de retorno de 100 años el valor de la intensidad de precipitación es 10.9 mm/h en 360 min y 90.9 mm/h en 15 min.

**Figura 41**

*Curvas Idf, Iser Pamplona*



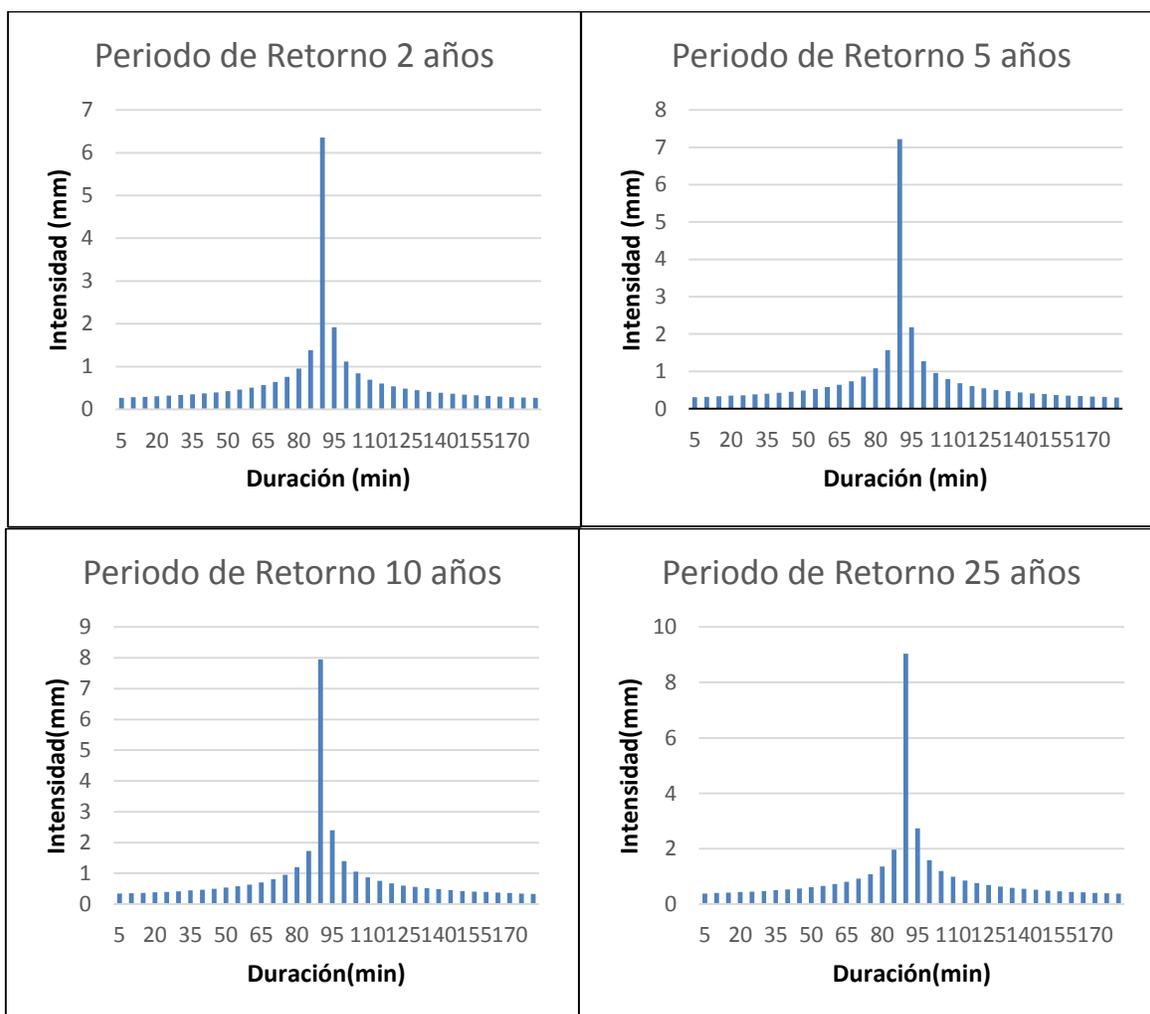
Fuente. IDEAM (2018)

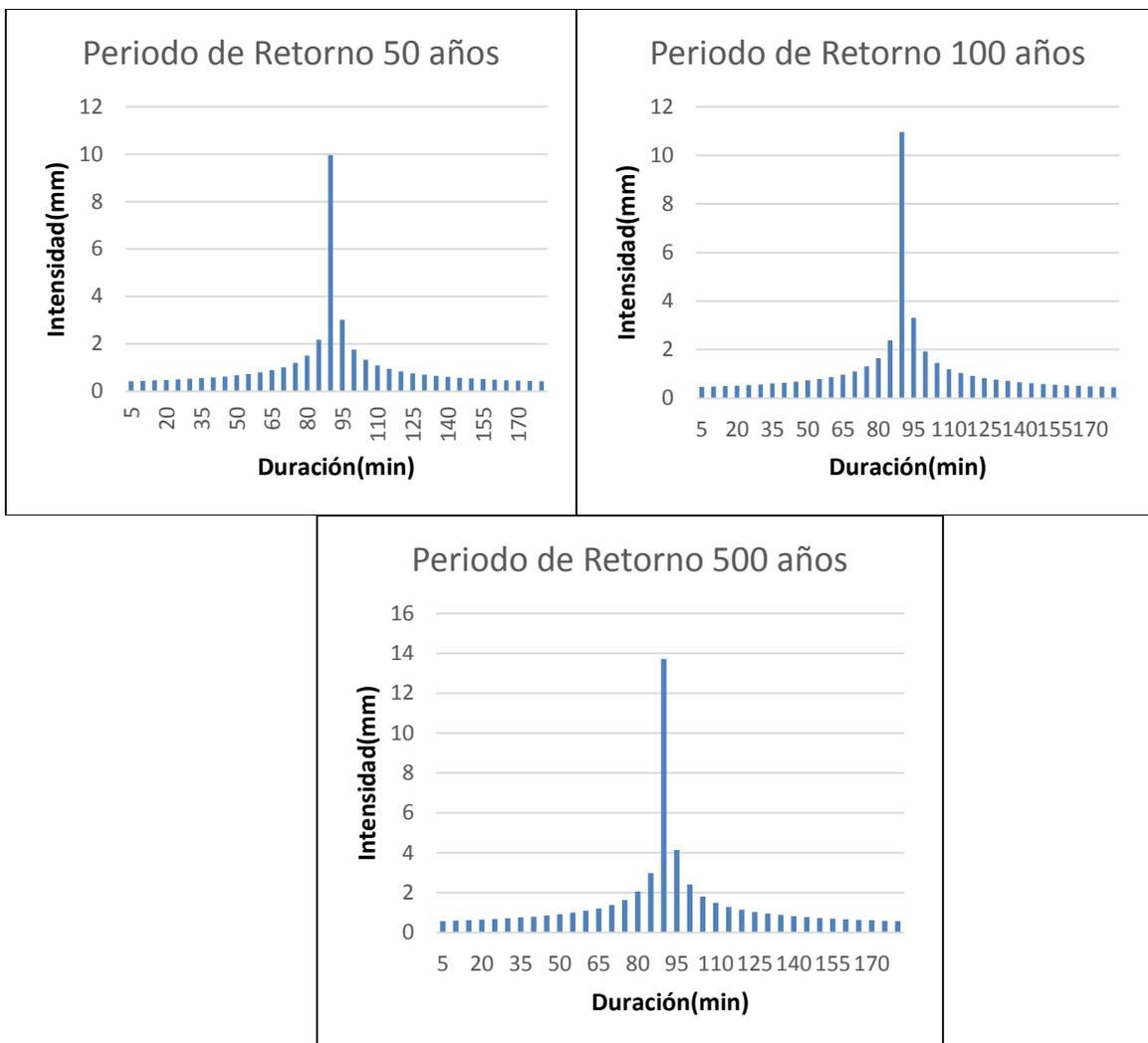
### 7.3.2 Hietogramas Parte Alta Del Río Pamplonita

En la Figura 42 se observan los hietogramas obtenidos para la zona de estudio en lo cual se evidencia que la precipitación pico en una duración de 90min. Además, se observa el patrón del comportamiento de la precipitación en todos los periodos de retorno debido a que el segundo valor máximo de intensidad se obtiene a la derecha del valor pico y el siguiente valor a la izquierda del mismo.

**Figura 42**

*Hietogramas Estación ISER Pamplona*





Fuente. Rivera (2020), a partir de información suministrada por el IDEAM.

### 7.3.3 Hidrogramas Parte Alta Del Río Pamplonita (Casco Urbano)

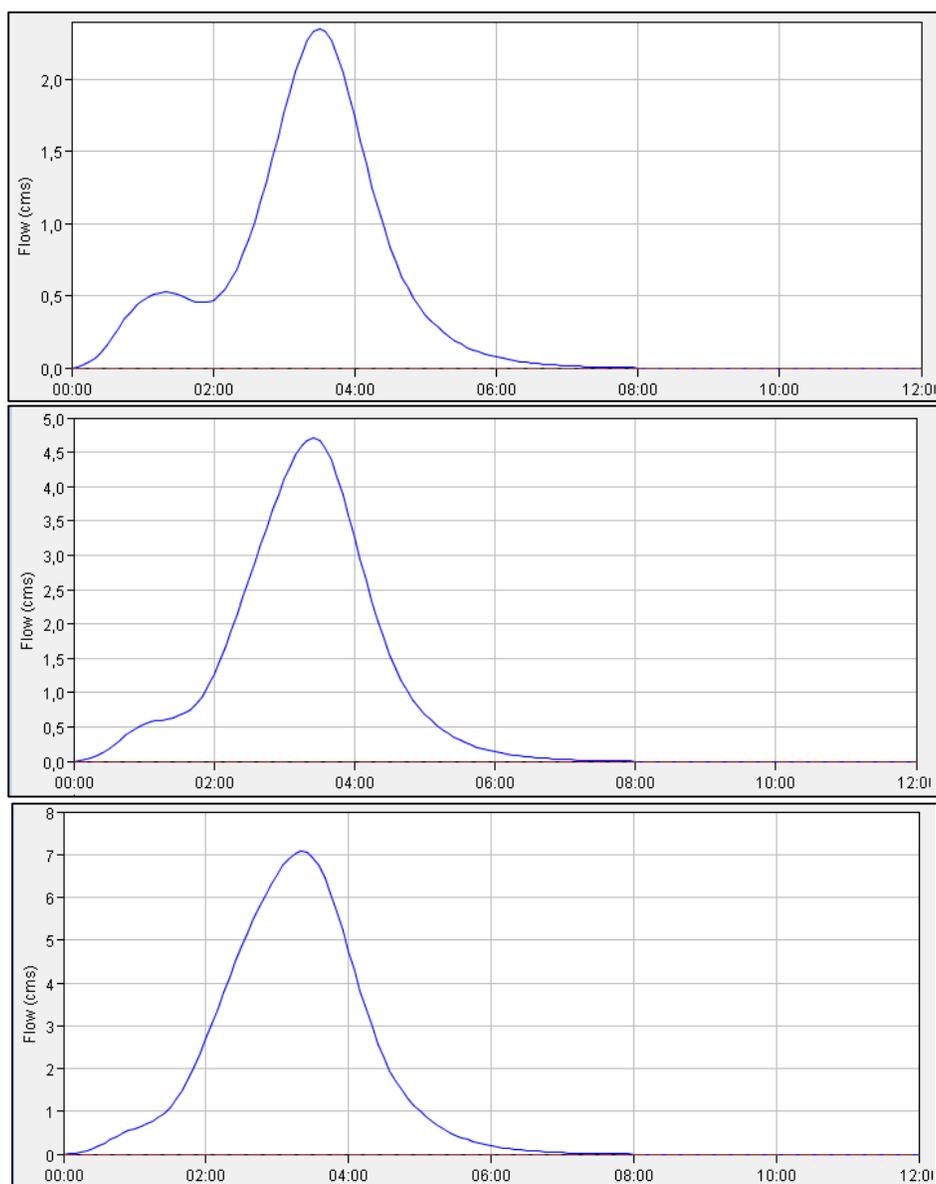
A lo largo de los hidrogramas unitarios para los tiempos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 se muestran el caudal pico que se tendrá de las precipitaciones observadas en los hietogramas y el tiempo de respuesta ante las mismas. Allí se evidencia el aumento progresivo en los caudales máximos; debido a que se tiene un caudal pico de  $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$  en 3.42h para el periodo de retorno de 2 años y  $34.1 \text{ m}^3/\text{s}$  en 3h para el periodo de retorno de 500 años. Se resalta que la

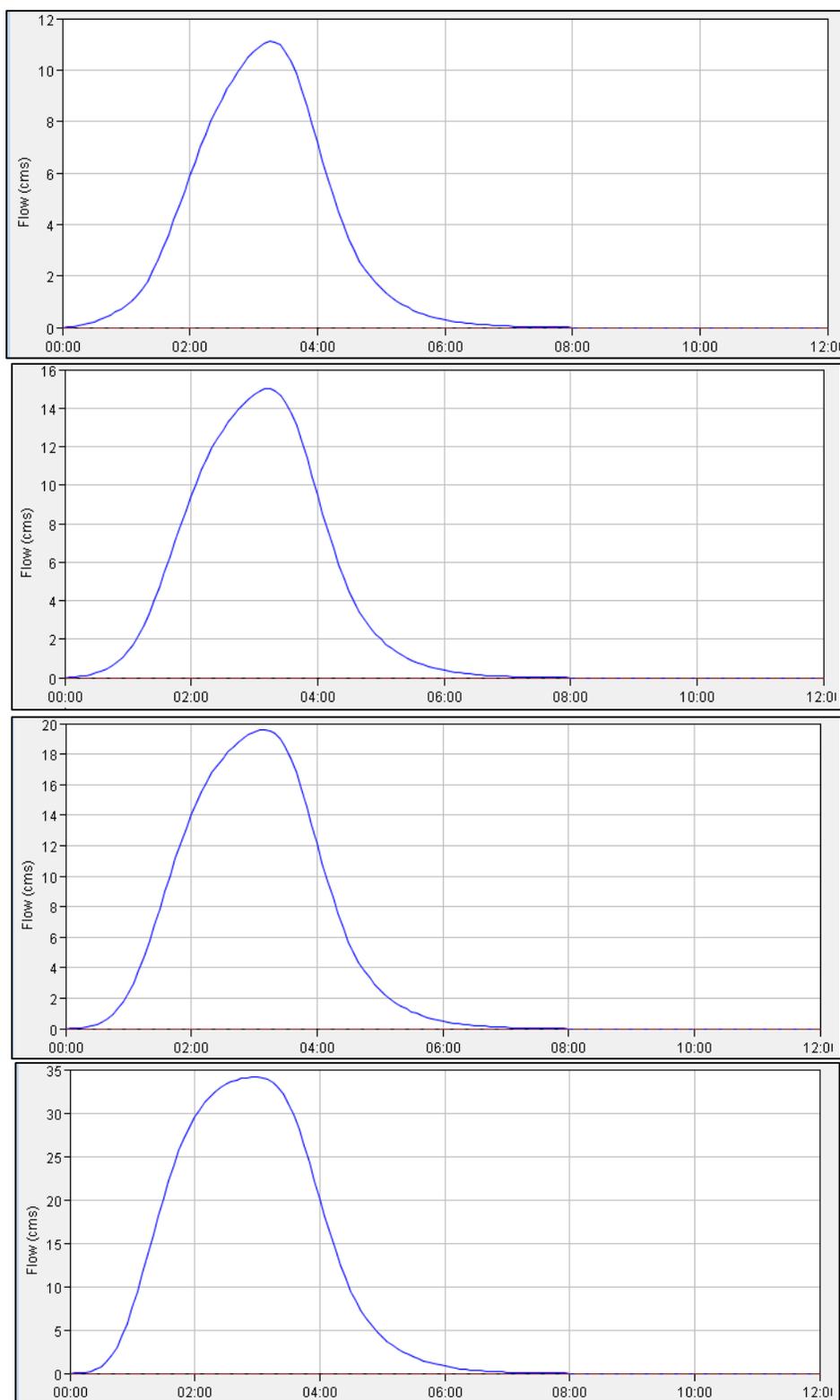
respuesta a la precipitación se presenta gradualmente debido a que los caudales máximos se presentan después de 3 horas, Figura 43.

### Figura 43

*Hidrogramas De Tiempos De Retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 Años Respectivamente;*

*Estación ISER Pamplona*





Fuente. Elaborado en Hec-HMS por Rivera (2020), a partir de información suministrada por el IDEAM.

### 7.3.4 Nivel De Agua En La Parte Alta Del Río Pamplonita

Se registró el nivel en puntos estratégicos, por ejemplo, en la quebrada Teorama frente a la vivienda que fue destruida por la creciente de noviembre de 2017 (Figura 44a). En la Figura 44b se muestra la instalación de la mira limnimétrica en la quebrada Monte dentro aguas abajo del vertimiento de la quebrada las Pavas.

#### Figura 44

*Instalación De Miras Linmimétricas En La Zona De Estudio.*



Fuente. Rivera H (2020)

En algunos puntos fue necesario cambiar la mira debido al cambio del curso del cauce en las que no se visualizó al momento de la instalación de la misma; por ejemplo, en la quebrada Navarro (Figura 45a) el cauce posee amplia planicie de inundación y en el río Pamplonita sector de la Salsamentaría debido a los sedimentos depositados hacia uno de los márgenes del Río, Figura.45b.

#### Figura 45

*Miras Linmimétricas Ubicadas En Navarro Y En Río Pamplonita*



Fuente. Rivera H (2020)

En la Figura 46 se muestran los niveles de agua obtenidos durante el periodo de observación de octubre, noviembre y primeros 11 días de diciembre del 2018, con incrementos (picos) los cuales se presentaron cuando hubo precipitaciones máximas. Asimismo, se observa una disminución progresiva en los puntos de observación. De igual manera, se resalta que la mira limnigráfica que se instaló en la quebrada Monteadentro en el sector El vivero fue arrastrada por el aumento de nivel, ocasionado por la fuerte precipitación del día 10 de octubre de 2018.

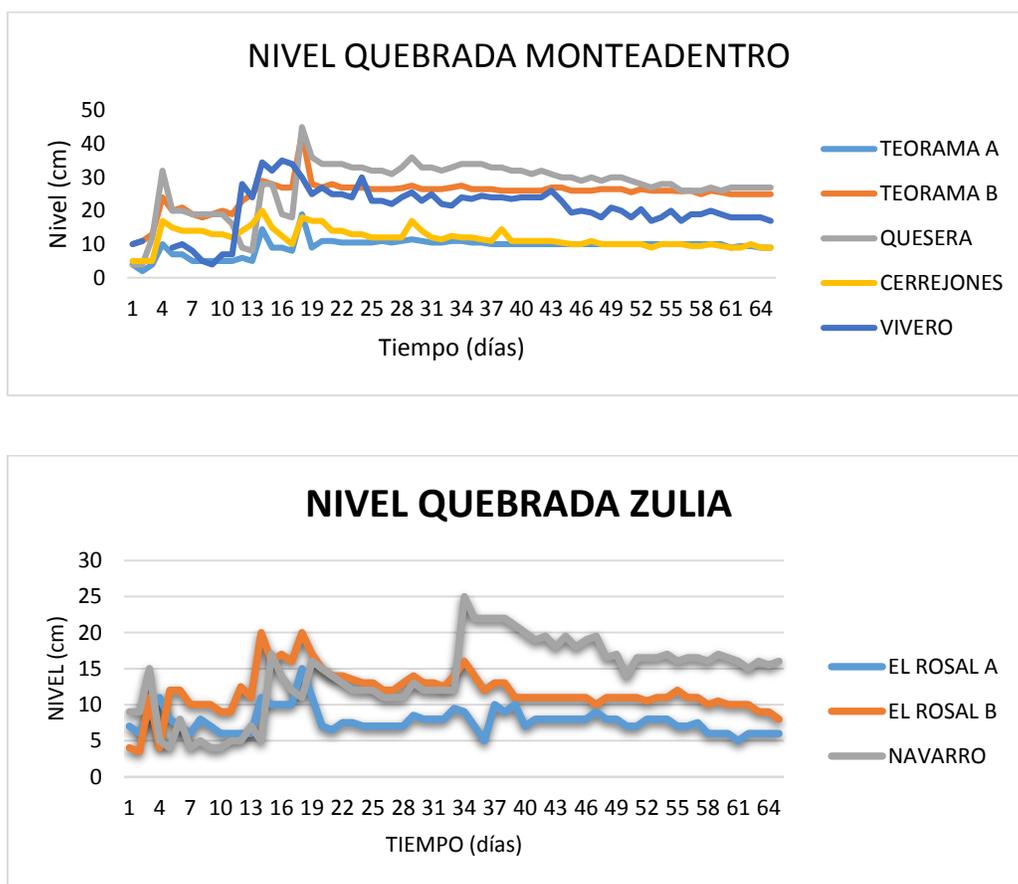
Los puntos que obtuvieron mayores niveles son la quebrada Teorema (afluente de Monteadentro), la quebrada Monteadentro en el sector de la Quesera y en el tramo en estudio del río Pamplonita en el sector la Salsamentaría. Asimismo, cabe resaltar que los niveles alcanzados al momento de la precipitación fueron mayores, pero no se registraron dado que se presentaron en un horario diferente al de registro del nivel, sin embargo, en la Figura 47a se observa el desbordamiento de la quebrada Monteadentro en el sector El vivero, en el sector del Distrito Militar (Figura 47b) y en el sector del ICA en el río Pamplonita (Figura 47c) se apreció el incremento del nivel de la lámina de agua según el pasto. De igual manera, en los afluentes El Jurado (Figura 47d) y El Buque (Figura 47e) se observó el desbordamiento del cauce. Las Figura 47f y 47g corresponden al tramo en estudio del río Pamplonita que de acuerdo tanto a las marcas del muro como a la vegetación se evidencio que el nivel del agua alcanzó hasta 1m de altura en

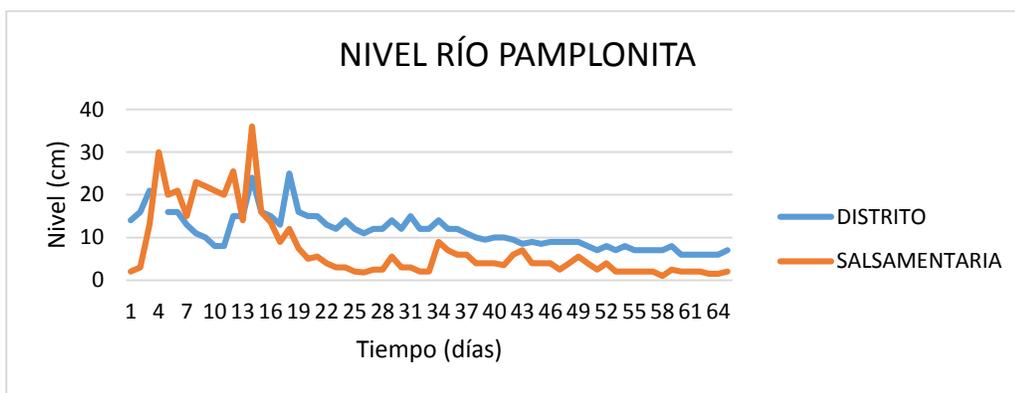
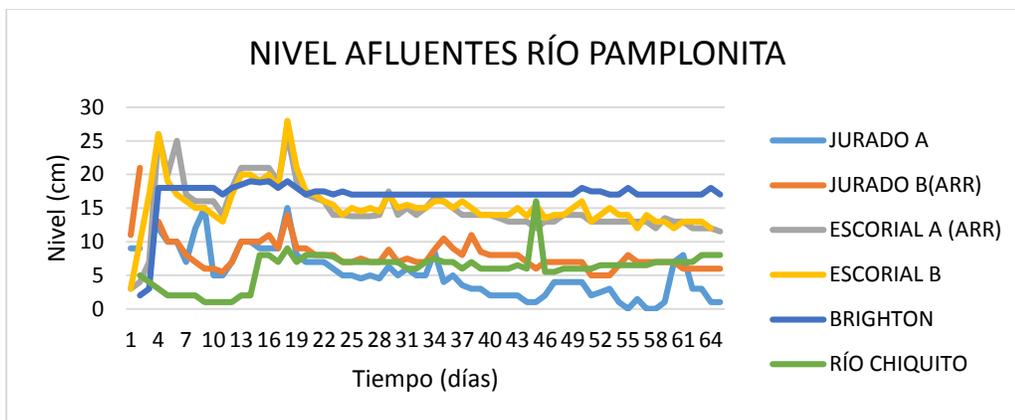
el momento de la precipitación. En este período de observación, se identificó que los afluentes que tuvieron menor variación del nivel son Brighthon, Jurado y el Buque.

Por otra parte, se confirmó que los valores de los niveles fueran coherentes, para ello se compararon con un registro de Niveles de 180 datos que fueron medidos en la Planta Cariongo los días 13,17 y 22 de Agosto del 2018 por parte de Empopamplona S.A E.S.P entre las 6:00 am y 12:00 pm; el promedio de estos niveles fue 22,59 cm y el promedio de Niveles registrado en el periodo de Octubre a Diciembre en la mira limnigrafica ubicada en el Sector del Vivero fue 20,38cm, es decir, están relacionadas.

**Figura 46**

*Nivel Del Agua En La Zona De Estudio*



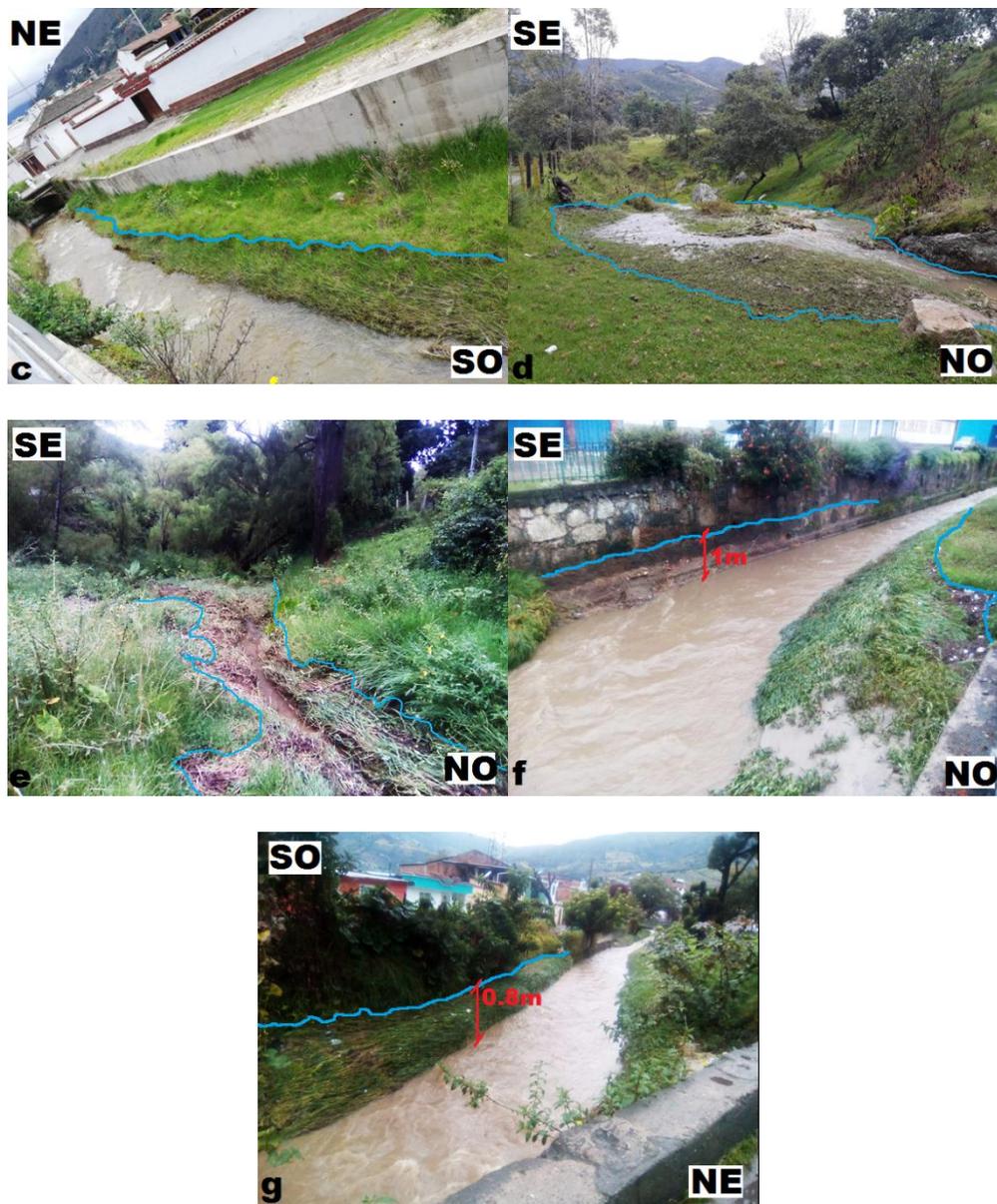


Fuente. Rivera H (2020)

**Figura 47**

*Aumento Del Nivel En Varios Puntos De Observación*





Fuente. Rivera H (2020)

### 7.3.5 Levantamiento De Secciones Transversales Y Sedimentos

En la tabla 5 se muestran los valores de Manning asociados a la rugosidad tanto de los márgenes como del fondo del cauce conforme a tablas del manual básico de Hec-RAS y Chow (1982) correspondiente a bancos de concreto sin pulir, pasto, maleza, arbustos, gaviones (mampostería irregular) y en el fondo grava, canto rodado y algunas rocas.

**Tabla 5***Rugosidad de Manning en el Tramo de Estudio del Río Pamplonita*

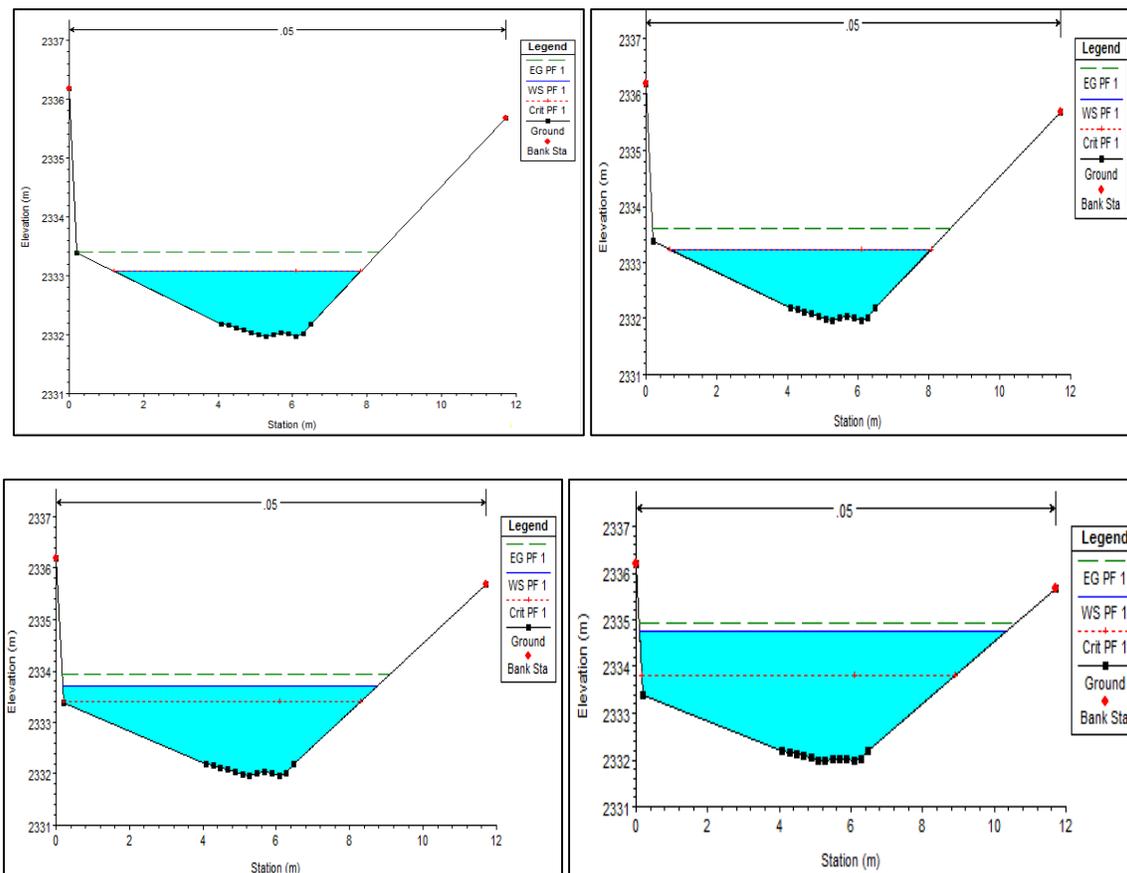
| Sección        | Margen<br>Izquierdo | Canal | Margen<br>Derecho |
|----------------|---------------------|-------|-------------------|
| <b>2336.18</b> | 0.0225              | 0.05  | 0.033             |
| <b>2335.71</b> | 0.03                | 0.05  | 0.033             |
| <b>2334.44</b> | 0.03                | 0.025 | 0.03              |
| <b>2333.12</b> | 0.015               | 0.025 | 0.03              |
| <b>2333</b>    | 0.015               | 0.025 | 0.03              |
| <b>2332</b>    | 0.015               | 0.025 | 0.03              |
| <b>2331</b>    | 0.015               | 0.02  | 0.03              |
| <b>2328.65</b> | 0.015               | 0.025 | 0.015             |
| <b>2326.21</b> | 0.015               | 0.025 | 0.015             |
| <b>2319.61</b> | 0.015               | 0.02  | 0.033             |
| <b>2317.28</b> | 0.015               | 0.02  | 0.015             |
| <b>2316.16</b> | 0.0325              | 0.03  | 0.015             |
| <b>2315.15</b> | 0.03                | 0.03  | 0.0225            |
| <b>2311.57</b> | 0.015               | 0.025 | 0.0225            |
| <b>2308.02</b> | 0.03                | 0.04  | 0.0225            |
| <b>2303.3</b>  | 0.03                | 0.04  | 0.0225            |
| <b>2301.34</b> | 0.03                | 0.035 | 0.0225            |
| <b>2288.31</b> | 0.03                | 0.035 | 0.017             |
| <b>2287.83</b> | 0.015               | 0.04  | 0.017             |
| <b>2286.98</b> | 0.015               | 0.04  | 0.033             |
| <b>2286.6</b>  | 0.024               | 0.04  | 0.033             |
| <b>2286.5</b>  | 0.015               | 0.025 | 0.033             |

Fuente. Rivera H (2020)

En la figura 48 se observa la sección transversal inicial del tramo del río Pamplonita modelada en Hec-RAS 5.0.1 para los periodos de retorno 25, 50, 100 y 5000 años respectivamente. Esta sección se ubica frente al Distrito Militar aguas abajo de la unión de los afluentes Monteadentro y Zulia, allí se observa el incremento progresivo de la lámina de agua, pero sin embargo para ninguno se desborda. Además, se aprecian las respectivas líneas de energía (verde discontinua) y altura critica (roja discontinua).

**Figura 48**

*Sección Transversal Ubicada Frente Al Distrito Militar*

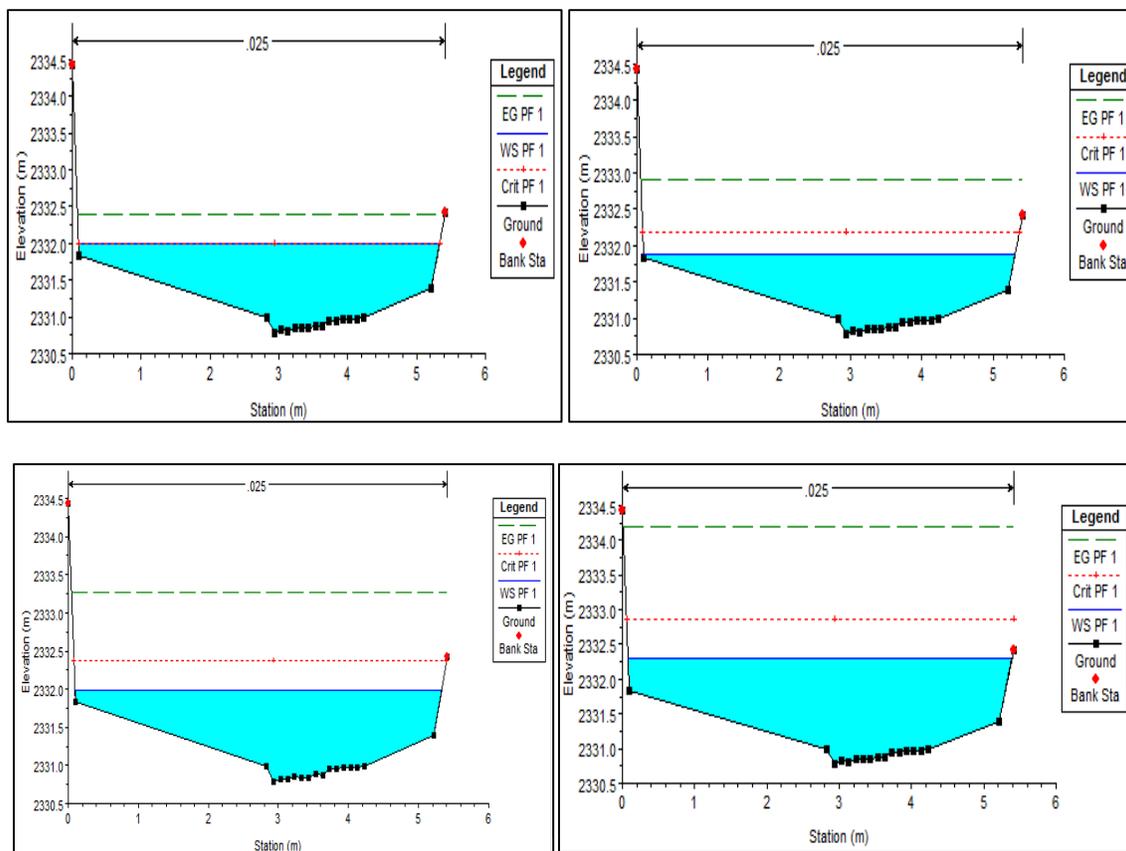


Fuente. Elaborado en Hec-RAS por Rivera H (2020)

En la figura 49 se observa la sección transversal ubicada aguas abajo del puente del distrito Militar para los periodos de retorno 25, 50, 100 y 5000 años respectivamente. Allí se evidencia el incremento progresivo de la lámina de agua, donde para el periodo de retorno de 500 años la lámina de agua se encuentra cerca a desbordarse por el margen derecho.

**Figura 49**

*Sección Transversal Ubicada Aguas Abajo Del Puente Del Distrito Militar*

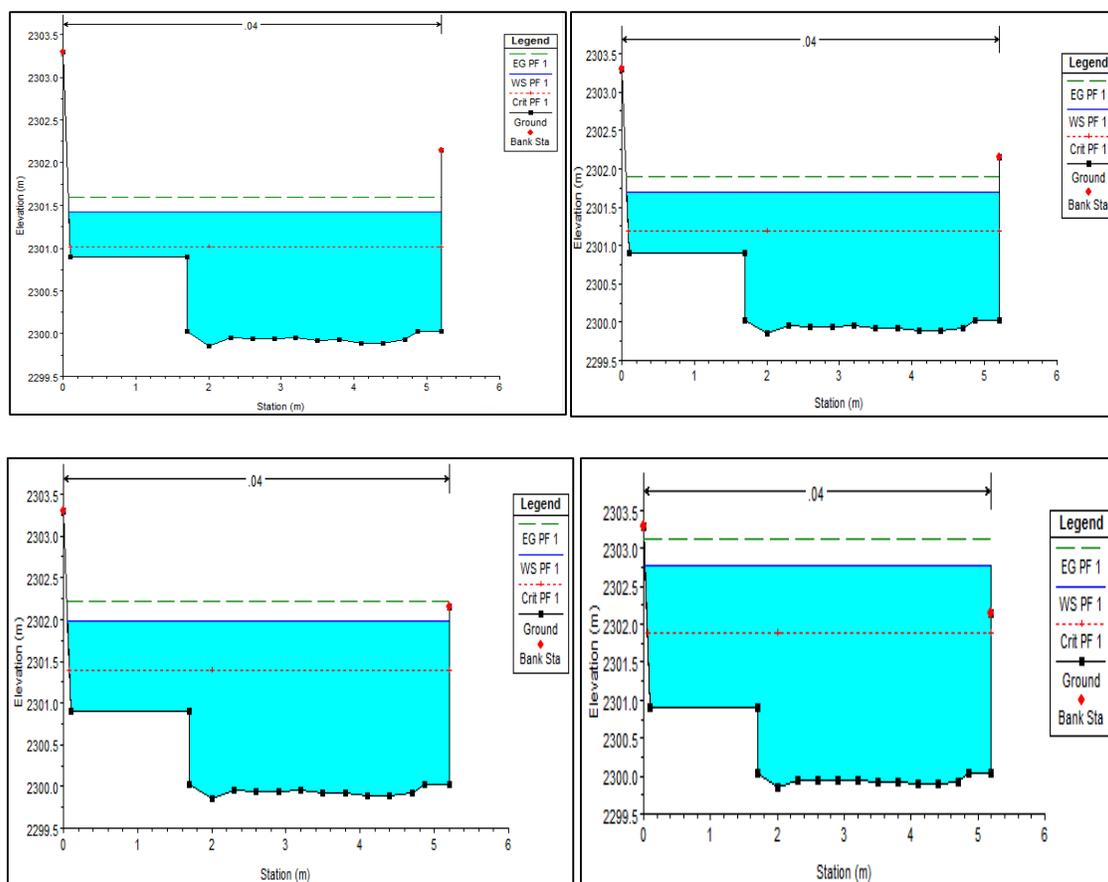


Fuente. Elaborado en Hec-RAS por Rivera H (2020)

En la figura 50 se observa la sección transversal ubicada aguas arriba del puente peatonal de madera de la Plazuela Almeida y en todos los periodos de retorno la lámina de agua se observa bastante elevada, desbordándose para el periodo de retorno correspondiente a 500 años.

### Figura 50

*Sección Transversal Ubicada Aguas Arriba Del Puente Peatonal De Madera De La Plazuela Almeida*

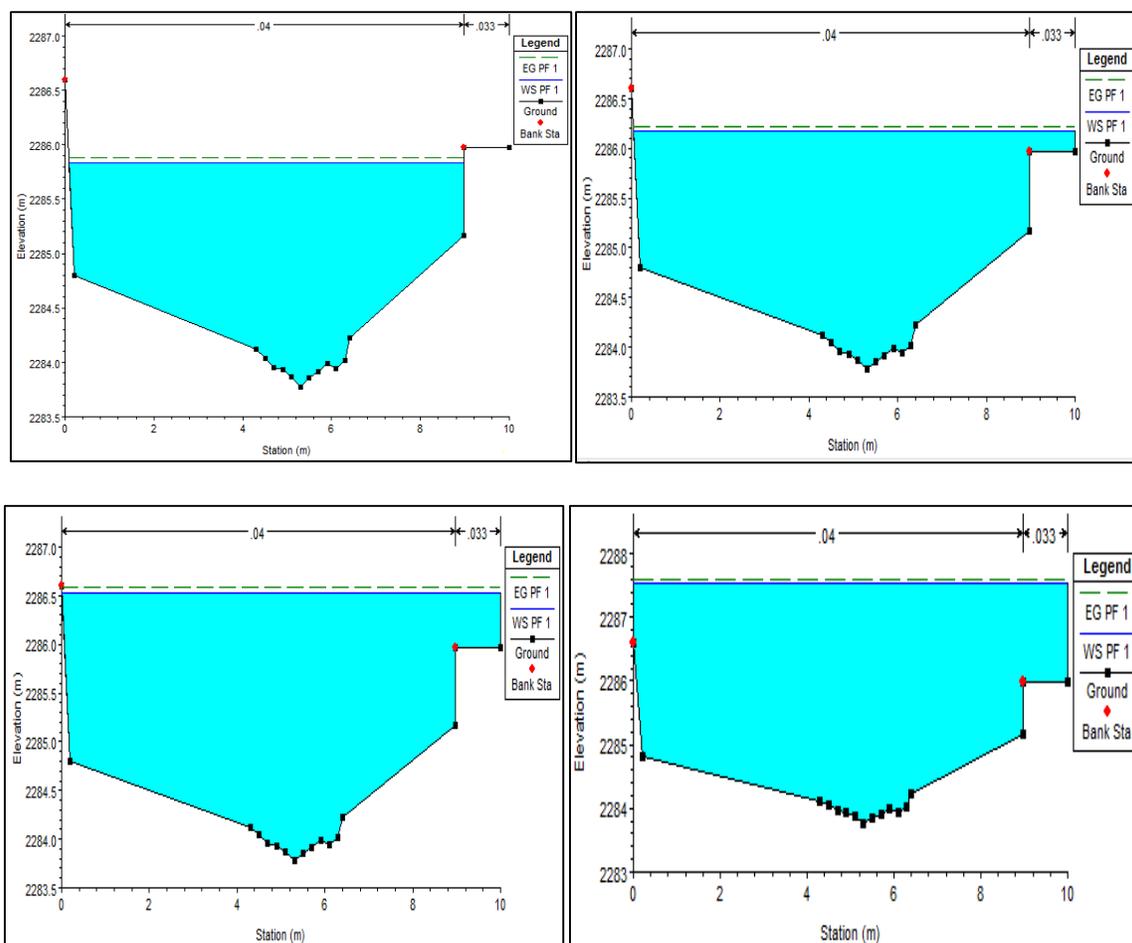


Fuente. Elaborado en Hec-RAS por Rivera H (2020)

En la figura 51 se observa la sección transversal ubicada aguas abajo del puente del terminal siendo la sección con mayor susceptibilidad debido a  $q$  con el periodo de retorno de 25 años es el único  $q$  no se desborda, pero sin embargo se encuentra próxima al límite del banco derecho y para el caudal correspondiente al periodo de retorno de 500 años se desborda por ambos lados.

### Figura 51

*Sección Transversal Ubicada Aguas Abajo Del Puente Del Terminal*



Fuente. Elaborado en Hec-RAS por Rivera H (2020)

Los sedimentos observados en las visitas de campos fueron gran cantidad de bloques con diámetros superiores a los 30cm, bolos con diámetros entre 7.5cm y 30cm y gravas entre los 4.76cm y 7.5cm, tal como lo clasifica el Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S). Por ejemplo, en el Escorial se observaron bloques con 55cm de diámetro y bolos de 17cm, en El Jurado bolos de 21cm, en la quebrada el Rosal (Figura 52a y 52b) se observaron bloques con dimensiones de 36cm por 25cm. También, se evidenciaron algunos por el orden de largo de 23cm (Figura 52c); en la desembocadura del afluente Monte dentro se tenían bolos de 17cm, 22.5cm y bloques con dimensiones de 150cm de largo por 62cm de ancho en el lado izquierdo y en el lado derecho 87cm (Figura 52d), allí mismo se observó en el margen derecho gran cantidad

de bloques y gravas de diferentes tamaños, Figura 52e. De la misma manera, en el canal del cauce principal del río Pamplonita (Figura 52f) se depositan arenas finas, gravas, bloques; todos estos sedimentos han sido arrastrados y depositados en estos puntos por crecientes que se han presentado anteriormente, recordando que la cuenca de estudio se encuentra en etapa de madurez.

### Figura 52

#### *Sedimentos Observados En La Zona De Estudio*



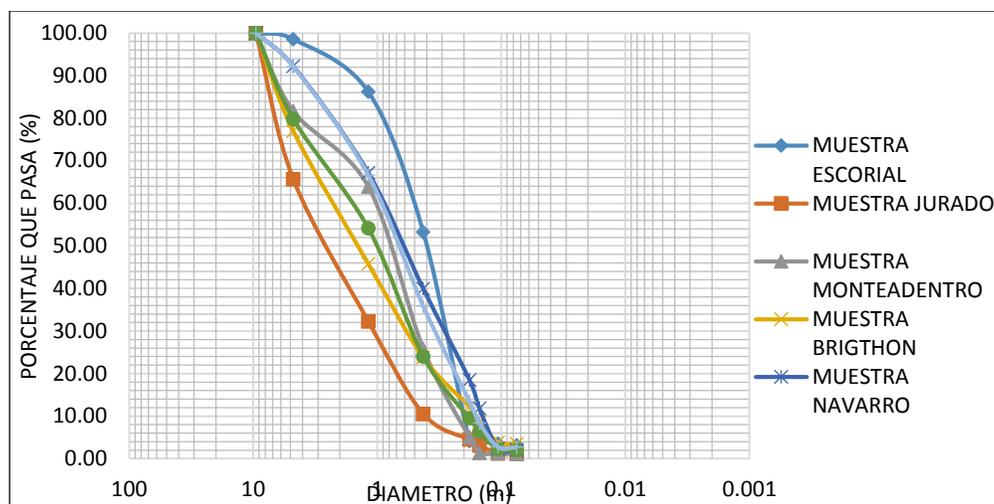


Fuente. Rivera H (2020)

Para cada una de las muestras recolectadas en campo de acuerdo a la metodología del Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), se obtuvieron los resultados mostrados en el anexo C y mediante el coeficiente de uniformidad y de curvatura o compacidad se estableció que son arenas pobremente gradadas (SP), arenas gravosas, poco o ningún fino algunas con presencia de gravas y arenas bien gradadas, arenas gravosas con pocos o ningún fino (SW); estos dos tipos de suelo se clasifican como arenas limpias, Figuras 53 al 55, Apéndice C

### **Figura 53**

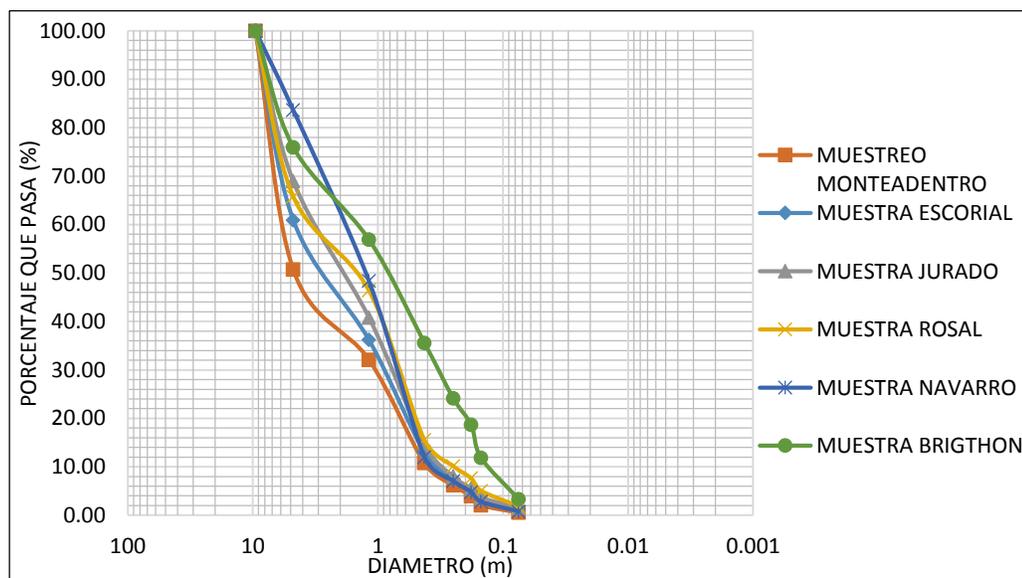
*Curva Granulométrica Muestreo 3*



Fuente. Rivera H (2020)

**Figura 54**

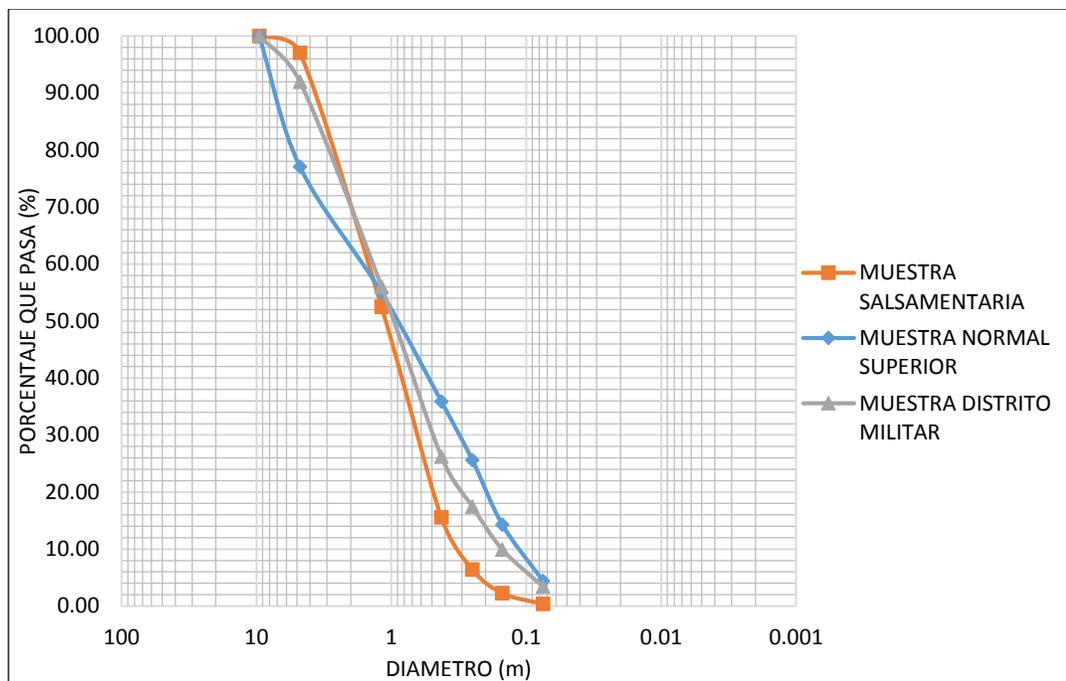
*Curva Granulométrica Muestreo 1*



Fuente. Rivera H (2020)

**Figura 55**

*Curva Granulométrica Muestreo 2*



Fuente. Rivera H (2020)

#### 7.4 Información De Caudales En La Zona De Estudio

El caudal de la zona de estudio se midió por el método de velocidad y sección mojada, cuyas velocidades fueron determinadas a través de un medidor de velocidades de flujo “Global Water FP 111 (tabla 6), estos valores fueron medidos en temporada de estiaje. Se aprecia que el caudal significativo captado por la PTAP. Por otra parte, el caudal medido en el batallón ( $0.1015\text{m}^3/\text{s}$ ) está influenciado por vertimientos domésticos que se encuentran a lo largo del cauce juntamente con el aporte del afluente del Jurado.

**Tabla 6**

*Caudales Medidos en Campo de la Zona de Estudio*

| LUGAR                                                        | CAUDAL<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Batallón</b>                                              | 0.1015                              |
| <b>Aguas arriba de la bocatoma del afluente El Rosal</b>     | 0.0574                              |
| <b>Aguas arriba de la bocatoma del afluente Monteadentro</b> | 0.088                               |

|                                                |        |
|------------------------------------------------|--------|
| <b>Desembocadura del afluente El Zulia</b>     | 0.0491 |
| <b>Desembocadura del afluente Monteadentro</b> | 0.0484 |

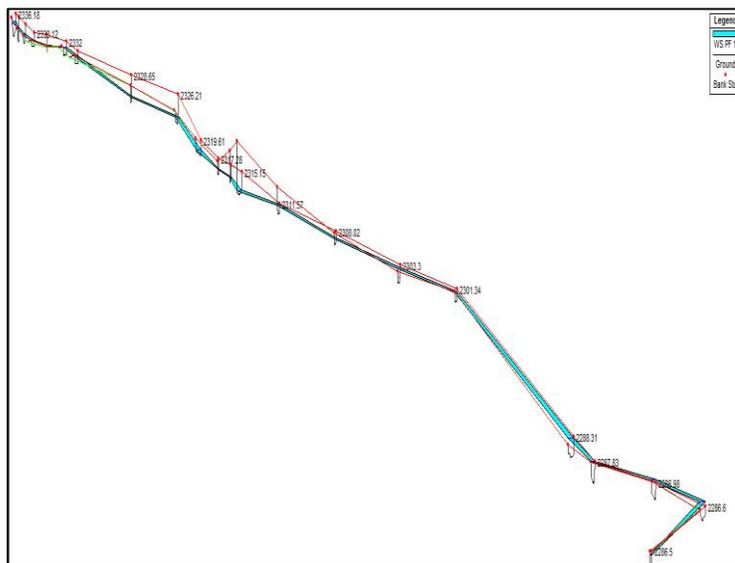
Fuente. Rivera H (2020)

### 7.5 Identificación de Áreas Susceptibles a los Eventos de Crecientes Súbitas

En la Figura 56 se detalla el tramo de estudio del río Pamplonita modelado en perspectiva x, y, z en donde se observa que en varios puntos la lámina de agua se encuentra más elevada que los bancos; es decir, esos puntos son susceptibles a inundarse. El margen derecho presenta mayor susceptibilidad de inundación y los tramos críticos son la Plazuela Almeida y aguas abajo del puente del Terminal.

#### Figura 56

*Perspectiva x, y, z del tramo del río Pamplonita*



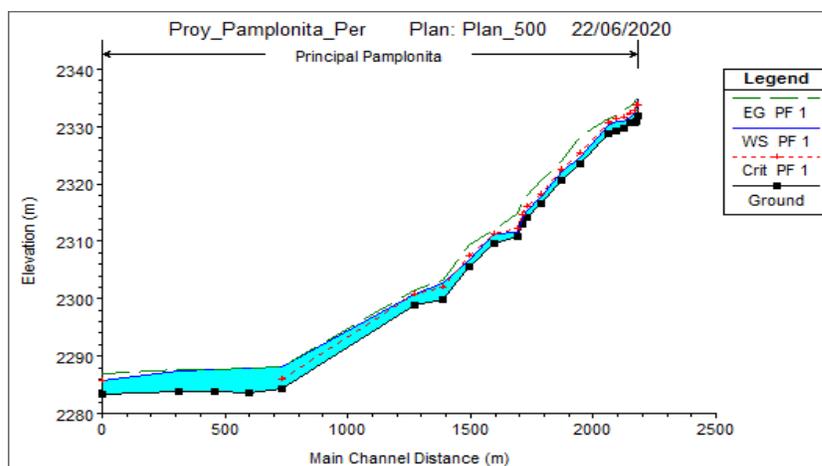
Fuente. Elaborado en Hec-RAS por Rivera H (2020)

En la Figura 57 se observa el perfil longitudinal del tramo de estudio del río Pamplonita con las respectivas líneas de energías y altura crítica, confirmando los puntos de mayor susceptibilidad a inundación debido a que la lámina de agua sobrepasa la línea de altura crítica.

Además, se aprecia que la lámina de agua aumenta significativamente para la parte final del tramo.

### Figura 57

*Perfil longitudinal del tramo de estudio del río Pamplonita con la lámina de agua*



Fuente. Elaborado en Hec-RAS por Rivera H (2020)

En la Figura 58 se observa la tabla de resultados resumida para el tramo de estudio del río Pamplonita mostrando el caudal pico de la modelación, las alturas máximas, mínimas y críticas, también el valor de la pendiente entre secciones, velocidad, área, ancho máximo y número de Froude presentándose los tres tipos de regímenes a lo largo del canal predominando el régimen súper crítico.

### Figura 58

*Tabla de resultados resumida para el tramo de estudio del río Pamplonita*

| Profile Output Table - Standard Table 1                              |           |         |                   |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|---------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------|
| File Options Std. Tables Locations Help                              |           |         |                   |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| HEC-RAS Plan: Sim 4 River: Principal Reach: Pamplonita Profile: PF 1 |           |         |                   |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Reach                                                                | River Sta | Profile | Q Total<br>(m3/s) | Min Ch El<br>(m) | W.S. Elev<br>(m) | Crit W.S.<br>(m) | E.G. Elev<br>(m) | E.G. Slope<br>(m/m) | Vel Chnl<br>(m/s) | Flow Area<br>(m2) | Top Width<br>(m) | Froude # Chl |
| Pamplonita                                                           | 2336.18   | PF 1    | 34.10             | 2331.97          | 2334.75          | 2333.79          | 2334.91          | 0.004515            | 1.78              | 19.15             | 10.23            | 0.42         |
| Pamplonita                                                           | 2335.71   | PF 1    | 34.10             | 2330.84          | 2333.73          | 2333.73          | 2334.78          | 0.057562            | 4.54              | 7.51              | 3.63             | 1.01         |
| Pamplonita                                                           | 2334.44   | PF 1    | 34.10             | 2330.78          | 2332.31          | 2332.87          | 2334.20          | 0.030685            | 6.09              | 5.60              | 5.31             | 1.89         |
| Pamplonita                                                           | 2333.12   | PF 1    | 34.10             | 2330.57          | 2331.68          | 2332.28          | 2333.66          | 0.034569            | 6.22              | 5.48              | 5.07             | 1.91         |
| Pamplonita                                                           | 2333      | PF 1    | 34.10             | 2329.63          | 2330.89          | 2331.53          | 2332.85          | 0.032685            | 6.21              | 5.49              | 4.86             | 1.86         |
| Pamplonita                                                           | 2332      | PF 1    | 34.10             | 2329.29          | 2331.01          | 2331.41          | 2331.95          | 0.012548            | 4.29              | 7.96              | 5.39             | 1.13         |
| Pamplonita                                                           | 2331      | PF 1    | 34.10             | 2328.75          | 2330.12          | 2330.69          | 2331.50          | 0.012917            | 5.19              | 6.57              | 4.91             | 1.43         |
| Pamplonita                                                           | 2328.65   | PF 1    | 34.10             | 2323.52          | 2324.59          | 2325.47          | 2328.25          | 0.080763            | 8.47              | 4.03              | 4.77             | 2.94         |
| Pamplonita                                                           | 2326.21   | PF 1    | 34.10             | 2320.55          | 2321.99          | 2322.57          | 2323.91          | 0.031370            | 6.14              | 5.56              | 4.63             | 1.79         |
| Pamplonita                                                           | 2319.61   | PF 1    | 34.10             | 2316.54          | 2317.66          | 2318.34          | 2320.58          | 0.057582            | 7.57              | 4.50              | 7.35             | 3.09         |
| Pamplonita                                                           | 2317.28   | PF 1    | 34.10             | 2314.16          | 2315.30          | 2316.02          | 2317.89          | 0.032173            | 7.13              | 4.78              | 4.87             | 2.30         |
| Pamplonita                                                           | 2316.16   | PF 1    | 34.10             | 2312.90          | 2313.94          | 2314.67          | 2316.86          | 0.096255            | 7.57              | 4.50              | 5.96             | 2.78         |
| Pamplonita                                                           | 2315.15   | PF 1    | 34.10             | 2310.75          | 2311.61          | 2312.31          | 2314.87          | 0.133701            | 7.99              | 4.27              | 7.46             | 3.37         |
| Pamplonita                                                           | 2311.57   | PF 1    | 34.10             | 2309.58          | 2311.34          | 2311.34          | 2312.04          | 0.009439            | 3.71              | 9.20              | 6.67             | 1.01         |
| Pamplonita                                                           | 2308.02   | PF 1    | 34.10             | 2305.48          | 2306.68          | 2307.45          | 2309.47          | 0.137325            | 7.40              | 4.61              | 4.73             | 2.39         |
| Pamplonita                                                           | 2303.3    | PF 1    | 34.10             | 2299.85          | 2302.78          | 2301.90          | 2303.13          | 0.008445            | 2.62              | 13.02             | 5.18             | 0.53         |
| Pamplonita                                                           | 2301.34   | PF 1    | 34.10             | 2298.78          | 2300.73          | 2300.73          | 2301.61          | 0.020981            | 4.16              | 8.20              | 4.67             | 1.00         |
| Pamplonita                                                           | 2288.31   | PF 1    | 34.10             | 2284.31          | 2288.02          | 2285.90          | 2288.10          | 0.000861            | 1.26              | 27.09             | 8.17             | 0.22         |
| Pamplonita                                                           | 2287.83   | PF 1    | 34.10             | 2283.57          | 2287.82          |                  | 2287.94          | 0.001638            | 1.49              | 22.91             | 6.40             | 0.25         |
| Pamplonita                                                           | 2286.98   | PF 1    | 34.10             | 2283.71          | 2287.65          |                  | 2287.74          | 0.001163            | 1.28              | 26.56             | 8.25             | 0.23         |
| Pamplonita                                                           | 2286.6    | PF 1    | 34.10             | 2283.77          | 2287.52          |                  | 2287.59          | 0.000815            | 1.20              | 29.28             | 10.00            | 0.22         |
| Pamplonita                                                           | 2286.5    | PF 1    | 34.10             | 2283.34          | 2285.73          | 2285.73          | 2286.83          | 0.013949            | 4.64              | 7.35              | 3.38             | 1.00         |

Fuente. Elaborado en Hec-RAS por Rivera H (2020)

En las fotografías 18a y 18b se evidencian algunas áreas susceptibles a crecientes debido a que se aprecia el significativo aumento del nivel de lámina de agua y el desbordamiento del cauce en la quebrada Monteadentro, siendo esta la que ha tenido mayores antecedentes a estos eventos.

**Figura 59**

*Creciente En La Zona De Estudio*



Fuente. Rivera H (2020)

A lo largo del canal del cauce del tramo en estudio del río Pamplonita se han desencadenado afectaciones a la infraestructura producto de la socavación y erosión. Por

ejemplo, en la fotografía 19a en el sector del Batallón se desprendió el muro del margen derecho por un tramo de aproximadamente 3m y en el sector del terminal fue necesario realizar un enrocado en el banco izquierdo y a su vez un refuerzo (resanar) el muro (fotografía 19c) y por el otro lado la ampliación de la planicie de inundación.

### Figura 60

*Afectaciones A La Infraestructura Presente En El Cauce Principal*



Fuente. Rivera H (2020)

## Conclusiones

Las intensas precipitaciones ha sido el principal factor detonante de las crecientes súbitas y las consecuencias significativas que se han presentado han sido a la infraestructura.

La zona de estudio es una cuenca dendrítica, de relieve fuertemente ondulado o fuertemente inclinado conforme a la pendiente media de la cuenca, según el coeficiente de masividad es una cuenca muy montañosa, la densidad de drenaje es moderada y en etapa de madurez o equilibrio. Por otra parte, de acuerdo a la pendiente del cauce principal se obtuvo que es una cuenca con gran acumulación de sedimentos.

la geología de la zona de estudio corresponde a la formación Tibú- Mercedes y formación Aguardiente. La unidad crono estratigráfica que predomina son areniscas y acorde al tamaño significativo de los bloques de con diámetros superiores a un metro indicaron la presencia de flujos torrenciales años atrás.

A partir del periodo de observación se determinó que el afluente Monteadentro presentó mayor susceptibilidad a crecientes de acuerdo al nivel del agua y los afluentes de menor variación fueron Brighthon y el Buque.

Los valores de la rugosidad de Manning se encontraron en el rango de 0.017 a 0.05 característicos de cauces con material como grava, canto rodado y algunas rocas en el fondo y los bancos de concreto sin pulir y densa vegetación como maleza, pasto y arbustos.

Los sedimentos de la parte alta del rio Pamplonita se clasifican como arenas pobremente gradadas y arenas bien gradadas, arenas gravosas con pocos o ningún fino con gran cantidad de gravas y bloques.

Los caudales pico se encontraron en el rango de 2.4 m<sup>3</sup>/s para un tiempo de retorno de 2 años hasta 34.1 m<sup>3</sup>/s en tiempo de retorno de 500 años evidenciando un aumento en función de

las altas precipitaciones que pueden llegar a presentarse en la zona de estudio que ocasionarían el desbordamiento del cauce.

Las áreas de mayor susceptibilidad a crecientes súbitas fueron el tramo aguas abajo del puente del Distrito Militar, Tramo La Plazuela Almeida y aguas abajo del puente del Terminal hacia el margen derecho generalmente, siendo considerables para los periodos de retorno 50,100 y 500 años.

### **Recomendaciones**

A la alcaldía Municipal y/o corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR) llevar el registro de los niveles de la lámina de agua y caudales en la zona de estudio.

A CORPONOR brindar un apoyo continuo en las investigación y actividades de levantamiento de información para el cuidado, protección y conservación de la zona de estudio.

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 esto con el fin de permitir mayor afluencia del canal del río y tener una mayor belleza paisajística

En cuanto a la modelación de las áreas susceptibles a crecientes súbitas se recomienda:

El realizar un levantamiento muy detallado de las secciones transversales en campo (en lo posible cada 2 metros) y realizar el levantamiento de caudales máximos a partir de mediciones en campo con equipos de gran exactitud para que a través de la simulación y complementos de los softwares se tenga un modelo más preciso.

se recomienda el seguimiento de esta investigación debido a que en el periodo de estudio de la presente investigación correspondió mayormente a época de estiaje. Asimismo, incluir los afluentes principales en la simulación e identificar las áreas erosionadas y socavadas para posteriormente realizar un control a las mismas, debido a que en varios puntos se observó la problemática.

## Referencias

- Acharya, A., & Prakash, A. (2019, septiembre). *Desarrollo Ambiental*. Elsevier BV.  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211464518301738>
- Agamez, M. P. (2015, 30 junio). Desarrollo de una metodología para el estudio de las inundaciones causadas por encharcamiento de agua de lluvia en zonas urbanas relativamente planas. Area de estudio: Montería (Colombia) | Padilla Agamez | Estudios Geográficos. [estudiosgeograficos.revistas.csic.es](http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es).  
<http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/view/451/451>
- Aguilar-Barajas, I., P. Sisto, N., I. Ramirez, Aldo , & Magaña-Rueda, V. (2019, septiembre). *Ciencia y Política Ambiental*. Elsevier Ltd.  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1462901118309146>
- Alarcón Álvarez, R. A., Bastidas Castillo, M. A., & Narváz Campaña, N. L. (2016). EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR INUNDACIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RIO PUTUMAYO – VALLE DE SIBUNDOY. [ridum.umanizales.edu.co](http://ridum.umanizales.edu.co).  
[http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2628/1/04\\_Alarcon\\_Richard\\_2016.pdf](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2628/1/04_Alarcon_Richard_2016.pdf)
- Aristizabal, J. (2018, 17 agosto). Entrada individual | MET Ingeniería. MET Ingeniería .  
<https://www.metingeneria.com/single-post/2018/08/10/Hidrometria-Algunos-instrumentos-de-medici%C3%B3n>
- Banco Mundial Colombia & GFDRR. (2012, marzo). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia*. [gestiondelriesgo](http://gestiondelriesgo.gov.co).  
<http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>
- Barrios Garcia, T. Y., & Barrios Garcia, Y. (2014). Modelación de pronósticos hidrológicos para niveles de agua en tiempo real para el río San Jorge, con fines de gestión del riesgo por inundaciones en el municipio de Ayapel Córdoba. [repository.usta.edu.co](http://repository.usta.edu.co).

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2920/Barriosyajaira2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bárceñas, J. (2017, 30 mayo). Hay que repensar la gestión de desastres en Colombia. Gestión de desastres en Colombia hay que repensarla.

<https://sostenibilidad.semana.com>

Blanco Suarez, S. (2018, 27 julio). Declaran la alerta roja en Santander por crecientes súbitas. La FM. <https://www.lafm.com.co>

Bonilla, S. (2019, 16 noviembre). Estudio de los factores que determinan los peligros de inundaciones (página 2) - Monografias.com. Monografias.com.

<https://www.monografias.com/trabajos81/estudio-factores-determinan-peligros-inundaciones/estudio-factores-determinan-peligros-inundaciones2.shtml>

Bowles, J. E. (2015). Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería civil [Libro electrónico]. McGraw-Hill Education. <https://stehven.files.wordpress.com/2015/08/josephe-e-bowles-manual-de-laboratorio-de-suelos.pdf>

Camargo Osorio, W. C. (2016, 10 mayo). Implementación de modelación hidráulica con fines de pronóstico hidrológico en el sector medio del río Bogotá. repository.unimilitar.edu.co. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15402>

Cardona, B. (s. f.). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. repository.usac.edu.gt. <http://www.repository.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>

Casa Editorial El Tiempo. (2019, 3 abril). Norte de Santander, en alerta por incremento de las lluvias. . El Tiempo, EL TIEMPO. <https://www.eltiempo.com>

Castañeda Gutiérrez, C. A., Ortíz Rodríguez, O. N., & Vivas Medina, C. A. (2014). Estudio de crecientes y cálculos de niveles máximos en el río Suaza en el cruce sobre la vía sustitutiva Pitalito– Garzón. (TFG). repository.ucatolica.edu.co.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1753/1/ESTUDIO%20DE%20CRECIENTE%20Y%20C%C3%81LCULO%20DE%20NIVELES%20M%C3%81XIMOS%20EN%20EL%20R%C3%8DO%20SUAZA.pdf>

Cruz, S., & Karime, R. (2012, Julio). Gestión Integrada Del Riesgo De Inundaciones En Colombia. riunet.upv.es.  
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27223/TFM\\_Gesti%C3%B3n\\_%20Inundaciones\\_Colombia\\_Karime\\_Sedano.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27223/TFM_Gesti%C3%B3n_%20Inundaciones_Colombia_Karime_Sedano.pdf?sequence=1)

Davila, D. E. (2018). Medicion de Caudal. Scribd.  
<https://es.scribd.com/document/394131067/Medicion-de-Caudal>

Del-Rosal-Salido, J., Folgueras, P., Ortega-Sánchez, Miguel , & Losada, M. Á. (2019). Más allá de la evaluación de probabilidad de inundación: un enfoque integrado para caracterizar niveles extremos de agua a lo largo de entornos de transición (Vol. 152). Elsevier.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037838391830454X?via%3Dihub>

El Congreso de Colombia. (2012, 24 abril). LEY 1523 DE 2012. Univalle.  
[http://paginasweb.univalle.edu.co/~planeacion/Analisis/Riesgos/LEY\\_1523\\_de\\_2012%20-riesgos.pdf](http://paginasweb.univalle.edu.co/~planeacion/Analisis/Riesgos/LEY_1523_de_2012%20-riesgos.pdf)

Elera, Y. E. C. (2016, 12 diciembre). Software libre, un instrumento en la ingeniería de los recursos hídricos. iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/yoel-esleiter-cordova-elera/software-libre-instrumento-ingenieria-recursos-hidricos>

Franco, S., Barreiros, E., & Meiguins, A. M. (2018). Floods and social vulnerability: Study on the Xingu River in Altamira / PA. *scielo.br*. <https://www.scielo.br/pdf/asoc/v21/1809-4422-asoc-21-e01573.pdf>

Franquet Bernis, J. M. (2009). Aforo Con Limnmetros Y Limngrafos. *eumed.net*. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2009b/564/AFORO%20CON%20LIMNIMETROS%20Y%20LIMNIGRAFOS.htm>

Gangrade, S., Kao, S.-C., Dullo, T. T., Kalyanapu, A. J., & Preston, B. L. (2019, 1 septiembre). Ensemble-based flood vulnerability assessment for probable maximum flood in a changing environment. *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169419305670>

Gani Adnan, M. S., Haque, A., & Hall, J. W. (2019, 10 septiembre). Have coastal embankments reduced flooding in Bangladesh? *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719320595?via%3Dihub>

Gómez Tapias, J., Monsalve Bustamante, M. L., Montes Ramírez, N. E., Alcárcel Gutiérrez, F. A., Corradine, L. F., Mateus Zabala, D., Pinilla Pachón, A. O., Lasso Muñoz, R. M., Nuñez Tello, A., Cardona Mayorga, A., Patiño Acevedo, A. M., Marín Rincon, E., & Marroquín, M. P. (2015). mapa geológico de Colombia [Mapa ]. En *Mapa Geológico de Colombia (servicio Geológico colombiano ed.)*.

Gómez, W. J. (2010, 7 octubre). Avalancha En Pamplona Norte de Santander. Somos la revista. <http://somoslarevista.com>

Gonzales, L., Hernandez, L., & Santamarta, J. (2002). *Ingeniería Geológica En Terrenos Volcánicos Métodos, Técnicas Y Experiencias En Las Islas Canarias (2.a ed.)* [Libro electrónico]. Prentice Hall. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/653671.pdf>

González Velandia, J. C. (2014). La Gestión Del Riesgo De Desastres En Las Inundaciones De Colombia: Una Mirada Crítica. repository.ucatolica.edu.co.

[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2128/1/Gesti%C3%B3n\\_riesgo\\_desastres\\_inundaciones\\_%20Colombia\\_mirada-cr%C3%ADtica.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2128/1/Gesti%C3%B3n_riesgo_desastres_inundaciones_%20Colombia_mirada-cr%C3%ADtica.pdf)

Gutiérrez, D., Cristancho, Y., & Rivera, M. (2013). Diagnóstico y manejo ambiental de la microcuenca q. El Escorial, municipio Pamplona. . Ambiental Agua, Aire Y Suelo, 4.

<http://cdim.esap.edu.co>

Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. I. (2017, mayo). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac (N.o 3). Tecnología y Ciencias del Agua. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v8n3/2007-2422-tca-8-03-00005.pdf>

Hortua Cortés, N. G. (2004). Geomorfología e hidrología, combinación estratégica para el estudio de las inundaciones en Florencia (Caquetá. Universidad Nacional de Colombia, 81-101. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/10145>

Hossein Jahangir, M., Mousavi Reineh, S. M., & Abolghasemi, M. (2019, 1 septiembre). Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Basin, Iran, using artificial neural network algorithm. ScienceDirect.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221209471830197X?via%3Dihub>

Hydrologic Engineering Center. (2019, 15 noviembre). HEC-RAS Features. [hec.usace.army.mil](http://hec.usace.army.mil). <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/features.aspx>

IDEAM. (2019, 15 noviembre). AMENAZAS INUNDACIÓN - IDEAM. [ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co). <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>

IDEAM. (2019, 15 noviembre). CURVAS IDF - CURVAS IDF - IDEAM. [ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co). <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>

- IDEAM. (2019, 15 noviembre). MODELACIÓN HIDROLÓGICA - IDEAM. ideam.gov.co. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>
- IDIGER. (2020, 19 junio). *Riesgo por Inundación - Idiger*. <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>
- Ingenieros, R. (2018, 26 julio). Características y Aplicaciones de la Interfaz de HEC-RAS. RHydro Ingenieros. <https://rhydroingenieros.com/blog/caractersticas-y-aplicaciones-de-la-interfaz-de-hec-ras>
- Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos - IDEAM. (2016, 28 julio). Zonificación de amenazas por inundaciones a escala 1:2000 y 1:5000 en áreas urbanas para 10 municipios del territorio colombiano. repositorio.gestiondelriesgo.gov.co. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19869>
- Kevin Andrei. (2015, 1 febrero). Hidrometría y aforo de corrientes naturales. Scribd. <https://es.scribd.com/document/254366333/3353962-2005-Parte-13>
- Kron, W., Eichner, J., & Kundzewicz, Z. W. (2019). Reducción del riesgo de inundación en Europa: reflexiones desde una perspectiva de reaseguro. *Revista de Hidrología*, 576(Elsevier), 197-209. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169419305979?via%3Dihub>
- Leandro, J., Gander, A., MNA Beg, Bholá, P., Konnerth, Willems, W., Carvalho, R., & Diserta, M. (2019). Pronosticar bandas de incertidumbre superior e inferior de descargas de inundaciones de ríos con alta habilidad predictiva. *revista de Hidrología*, 576(Elsevier), 749-763. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169419305992?via%3Dihub>
- Lopez Ramirez, D. P., & Gómez Rojas, D. F. (2019). Determinación De La Cota De Inundación Del Río Arauca En La Vereda Barrancones, Municipio De Arauca Mediante Un Modelo Hidrodinamico. TFG.

[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23392/1/PROYECTO\\_%20INUNDACIONES%20EN%20LA%20CARRERA%20DE%20LA%20CALLE%20DE%20LA%20QUEBRADA%20DOÑA%20MARÍA%20\(N.º%2015\).pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23392/1/PROYECTO_%20INUNDACIONES%20EN%20LA%20CARRERA%20DE%20LA%20CALLE%20DE%20LA%20QUEBRADA%20DOÑA%20MARÍA%20(N.º%2015).pdf)

Montoya Jaramillo, L. J., Silva Arroyave, S. M., & González, J. E. (2009, mayo). Evaluación De Zonas De Amenaza Por Avenidas Torrenciales Utilizando Metodologías Cualitativas. Caso De Aplicación A La Quebrada Doña María (N.o 15). [sciELO.org.co](http://www.scielo.org.co).  
<http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15/v8n15a02.pdf>

Morales, D., & Pinto, J. (2017). Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad por crecientes del río Acacitas en el área urbana del municipio de Acacias- Meta. *universidad de la salle*. (TGM). <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/21719>

Moura Rezende, O., Ribeiro, Anna Beatriz, Krishnamurti Beleño, A., Pitzer Jacob, A. C., & Gomes Miguez, M. (2019). Un marco para introducir la resistencia a las inundaciones urbanas en el diseño de alternativas de control de inundaciones. *Revista de Hidrología*, 576(Elsevier), 478-493. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.063>

Pérez, G. (2019, 15 noviembre). *Hidrología - Ciclo hidrológico (del agua)*. [ciclohidrologico.com](https://www.ciclohidrologico.com/hidrologia). <https://www.ciclohidrologico.com/hidrologia>

Perez, J. I., Escobar, J. R., & Fragozo, J. M. (2018). Modelación Hidráulica 2D de Inundaciones en Regiones con Escasez de Datos. El Caso del Delta del Río Ranchería, Riohacha-Colombia. (Vol. 29). *Información tecnológica*.  
[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0718-07642018000400143&Ing=es&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642018000400143&Ing=es&nrm=iso)

Pizarro T, R., Flores V, J. P., Sangüesa P, C., & Martínez A, E. (2019, 16 noviembre). *Curvas Intensidad Duración Frecuencia*. [eias.usalca.cl](http://eias.usalca.cl).  
[http://eias.usalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/b\\_modulo\\_IDF.pdf](http://eias.usalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/b_modulo_IDF.pdf)

PNGRD. (2015, 18 noviembre). Plan Nacional De Gestión Del Riesgo De Desastres. portal.gestiondelriesgo. <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNGRD-2015-2025-Version-Preliminar.pdf>

Presidencia De La Republica. (1975, 27 enero). DECRETO 2811 DE 1974. secretariassenado. [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto\\_2811\\_1974.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_2811_1974.html)

Proaño, J. (2019, 20 noviembre). Hidrogramas. Capítulo 05. Aspectos Generales. clima.dicym.uson.mx. <http://clima.dicym.uson.mx/paglabhidra/ARCHIVOS/DENNIS/Tipos%20de%20hidrogramas.pdf>

Quintero, W., Robles, C. A., & Vilorio, A. M. (2017). Sistema de Información para Detección de Crecientes Súbitas en la Cuenca del Río Manzanares en Santa Marta, Colombia (N.o 6). Información Tecnológica. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642017000600011&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000600011&lng=en&nrm=iso&tlng=en)

Robayo Mejía, L. A. (2014). Análisis De Amenaza Por Inundación Para La Localidad De Tunjuelito, Desarrollado A Través De Sistemas De Información Geográfica. repository.ucatolica.edu.co. (TGM) [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1578/1/An%c3%a1lisis\\_amenaza\\_inundaci%c3%b3n\\_Tunjuelito\\_por\\_SIG.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1578/1/An%c3%a1lisis_amenaza_inundaci%c3%b3n_Tunjuelito_por_SIG.pdf)

Rodríguez Peña, Y. L. (2017, noviembre). Análisis de susceptibilidad por crecidas torrenciales, basado en herramientas SIG. ciaf.igac.gov.co. [https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/files\\_ciaf/Pe%C3%B1a-Rodriguez-](https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/files_ciaf/Pe%C3%B1a-Rodriguez-)

UNGRD. (s. f.). Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres. gestiondelriesgo. <http://gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/pagina.aspx?id=144>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2015). Normatividad. portal.gestiondelriesgo. <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Normatividad.aspx>

Universidad Nacional Autónoma de México. (2019, 15 noviembre). Lluvias e inundaciones | Portal UNAM. unam.mx. <https://www.unam.mx/medidas-de-emergencia/lluvias-e-inundaciones>

Varón Gutiérrez, S. D., & Vargas Cuervo, G. (2018). Análisis de la susceptibilidad por inundaciones asociadas a la dinámica fluvial del río Guatiquía en la ciudad de Villavicencio, Colombia. *Colombiana de Geografía*, 2, 152-174. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v28n1/2256-5442-rcdg-28-01-152.pdf>

Villamizar, J., Rivera, M., & Delgado, J. (2018). Análisis de amenaza por crecientes súbitas de la Microcuenca La Viuda, Municipio de Chitagá, Norte de Santander. Biblioteca Rafael Faria Universidad de Pamplona.

Wang, Y., Hong, H., Chen, W., Li, S., Panahi, M., Khosravi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Panahi, S., & Costache, R. (2019, 1 octubre). Flood susceptibility mapping in Dingnan County (China) using adaptive neuro-fuzzy inference system with biogeography based optimization and imperialistic competitive algorithm. *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719309041?via%3Dihubworld-ingenium>. (s. f.). HEC-HMS 4.2.1. <http://world-ingenium.blogspot.com/2018/02/hec-hms-421.html>

Wahid, A., Madden, M., Khalaf, F., & Fathy, I. (2016, marzo). Análisis geoespacial para la determinación de las características hidromorfológicas y la evaluación de la potencialidad de

inundaciones repentinas en las llanuras costeras áridas: un caso en el suroeste de Sinaí, Egipto.

scielo.org.co. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-)

61902016000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=en

Windows, Educación y Geografía. (2019, 15 noviembre). ArcGIS Blog.

<https://www.esri.com/arcgis->

<blog/?rmedium=redirect&rsource=blogs.esri.com/esri/arcgis/tag/arcgis->

<desktop&s=#&tag=arcgis-desktop>

Yee, J. (2008). Zonificación de áreas susceptibles y niveles de vulnerabilidad ante amenazas del tipo Movimientos de masa y desbordes por crecidas, en el Trayecto urbano de la Quebrada Milla, Parroquia Milla, Estado Mérida. Mérida. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias forestales y Ambientales. (TGM)

Yenifer\_Nieto-Valencia-Nelson\_Posada-Parra-Martha.pdf (2016, 30 enero). Estudio Hidrológico cuenca Zipacha. vdocuments.mx. <https://vdocuments.mx/estudio-hidrologico-cuenca-zipacha.html>