

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigente 1998	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(90)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	JENNY PAOLA ACEVEDO CHÁVEZ		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA AMBIENTAL		
DIRECTOR	JUAN CARLOS RODRÍGUEZ OSORIO		
TÍTULO DE LA TESIS	ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA EL TRAMO DEL RIO SARDINATA DENTRO DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL CORREGIMIENTO CAMPO DOS DEL MUNICIPIO DE TIBU NORTE DE SANTANDER		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL PRESENTE TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE PASANTÍAS, REALIZÓ LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL CRUCE SUBFLUVIAL DEL MAGDALENA EN LOS ESCENARIOS CON Y SIN PROYECTO, BAJO LA METODOLOGÍA DE VICENTE CONESA FERNÁNDEZ, IDENTIFICANDO QUE EL IMPACTO MÁS REPRESENTATIVO ES LA “VARIACIÓN EN LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL SUELO” DEBIDO A LA ACTIVIDAD DE “REMOCIÓN Y DESCAPOTE DE COBERTURA VEGETAL” EL CUAL AFECTA EL MEDIO ABIÓTICO.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 143	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 11	CD-ROM: 1



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
 info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

**ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA EL TRAMO DEL RIO
SARDINATA DENTRO DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL CORREGIMIENTO
CAMPO DOS DEL MUNICIPIO DE TIBU NORTE DE SANTANDER**

JENNY PAOLA ACEVEDO CHÁVEZ

**Trabajo de grado presentado bajo la modalidad de pasantías presentado como requisito
para optar el título de Ingeniero Ambiental**

Director

JUAN CARLOS RODRIGUEZ OSORIO

Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERIA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Octubre, 2018

Índice

Capítulo 1. Estudio Hidrológico E Hidráulico Para El Tramo Del Río Sardinata Dentro De La Zona De Influencia Del Corregimiento Campo Dos Del Municipio De Tibu Norte De Santander.....	1
1.1. Descripción De La Alcaldía Municipal De Tibu Norte De Santander.....	1
1.1.1 Misión.....	2
1.1.2 Visión.....	2
1.1.3 Objetivos General Corporativo.	2
1.1.5 Descripción De La Dependencia En La Cual Fui Asignado.....	3
1.2 DIAGNÓSTICO INICIAL DE LA DEPENDENCIA EN LA CUAL FUI ASIGNADO	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	5
1.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES A DESARROLLAR.....	5
 Capítulo 2 Marco Referencial.....	 8
2.1 Marco Conceptual.....	8
2.2. Marco Teórico.....	13
2.2.1. Intensidad De La Lluvia Máxima.....	13
2.2.2. Cálculo De Caudales Máximos.....	14
2.2.3. Coeficiente De Escorrentía.....	15
2.2.4. Obtención Del Número De Curva NC.....	15
2.2.5. Método Racional.....	18
2.2.6. Método Empírico.....	19
2.2.7. Método De Burkli–Zegler.....	19
2.2.8. Hidrograma Unitario Triangular.....	19
2.2.9. Hidrograma Unitario De Clark.....	21
2.2.10. Modelo De Snyder.....	22
2.2.11. Cálculo De La Precipitación Efectiva.....	23
2.2.12. Escorrentía.....	23
 Capítulo 3 ENTREGA DE RESULTADOS.....	 24
3.1. Realizar El Estudio Hidrológico Del Río Sardinata En La Zona De Influencia Del Corregimiento De Campo Dos Mediante Lo Determinado En La Resolución 865 Del 2004 Del Instituto De Estudios Ambientales Y Meteorológicos IDEAM.	24
3.2. Hidrografía.....	25
3.3. Microcuenca K.4.0 Río Sardinata.....	27
3.4. Características Morfométricas De La Microcuenca.....	28
3.5 Recolección Y Análisis De Los Datos.....	31
3.5.1. Análisis De La Precipitación De La Zona.....	34
3.5.2. Gráficos Serie De Precipitación Y Curva De Masa Simple.....	34
3.5.3. Gráfico De Masa Residual.....	36
3.5.4. Diagrama De Puntos.....	37

3.5.6. Histograma Y Gráfico De Tallo Y Hojas	38
3.5.7. Gráfico S – S.....	39
3.5.8. Gráficos De Caja.....	40
3.5.9. Graficas Suavizadas	42
3.6. Calculo De Caudal Método Racional.....	43
Capítulo 4. Modelo Hidráulico Unidimensional Hecras Para El Rio Sardinata Calculando Las Zonas De Inundación Para Diversos Periodos De Retorno	53
4.1. Análisis Hidraulico Segundo Tramo Del Rio	57
4.2. Determinación De La Capacidad Hidráulica	61
Conclusiones	73
Recomendaciones.....	75
Referencias.....	78

Listado de figuras

Figura 1. Esquema descriptivo del Hidrograma unitario triangular	20
Figura 2 . Localizacion de la zona de estudio	24
Figura 3. Imagen de Campo Dos Corregimiento de Tibu	25
Figura 4. Mapa de microcuencas	27
Figura 5. Imagen Satelital de la microcuenca	28
Figura 6. Imagen del portal WEB IDEAM	32
Figura 7. Gráficos de masa simple y serie de precipitación para la estación TIBU [16035010]	35
Figura 8. Gráficos de masa simple y serie de precipitación para la estación ORU [16070040]	35
Figura 9 Gráficos de masa simple y serie de precipitación para la estación CNO LA RAYA [16060010]	35
Figura 10. Gráficos de masa residual para las estaciones Analizadas	36
Figura 11. Diagrama de puntos	38
Figura 12. Histogramas y diagrama de tallo y hojas para la serie de precipitación de las estaciones.	39
Figura 13 Gráficos S – S	40
Figura 14. Gráfico de caja para la estación	41
Figura 15. Gráfico de caja para la estación	41
Figura 16. Grafico de caja	41
Figura 17. Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación	42
Figura 18. Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación	42
Figura 19. Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación	43
Figura 20. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación	47
Figura 21. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación2	48
Figura 22. Valores de las Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación 3	48
figura 23. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación3	49
Figura 24. Imagen de satélite digitalizada tramo del rio	53
Figura 25. IP de la faja marginal en los primero 1100mtrs	55
Figura 26. Segundo tramo del rio	58
Figura 27. Secciones transversales tramos2, sobre TIN	58

Figura 28. Secciones transversales sobre la imagen multiespectral	59
figura 29. Ip del resultado de la exportación de ARCGIS – HECRAS	59
Figura 30. Modelación de secciones transversales	62
Figura 31 Perfil longitudinal del tramo dos de estudio	64
Figura 32. Grafica de velocidades en el tramo en estudio, velocidades calculadas para los seis periodos de retorno analizados	65
Figura 33. Gráfica del Área efectiva de la sección transversal del flujo perpendicular	66
Figura 34. Gráfica del ancho de la lámina de agua o de la sección del canal en la superficie libre de la misma	66
Figura 35. Gráfica del número de Froude y Froude # XS	66
Figura 36. Modelo 3D de una vista panorámica del tramo 2. Modelo realizado en la extension ARCSCE	68
Figura 37. Simulación en ArcGIS del periodo de retorno a 2 años	69
Figura 38. Simulación en ArcGIS del periodo de retorno a 5 años	69
Figura 39. Simulación en ArcGIS del periodo de retorno a 10 años	70
Figura 40. Simulación en ArcGIS del periodo de retorno a 25 años	70
Figura 41 Simulación en ArcGIS del periodo de retorno a 50 años	71

Listado de tablas

Tabla 1 .Tipo de suelos segun sus características hidrogeológicas	17
Tabla 2. Coordenadas Localización campo dos Tibu	25
Tabla 3. Coordenadas de la microcuenca	27
Tabla 4. Características morfométricas de la microcuenca	29
Tabla 5. Cuadro de áreas	30
Tabla 6. Datos de cálculo	31
Tabla 7 . Valores de las Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación 1	46
Tabla 8. Valores de las Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación 2	47
Tabla 9. Coeficiente de escorrentía.	49
Tabla 10. Estimación del caudal máximo para la estación 1 mediante el método racional	51
Tabla 11. Estimación del caudal máximo para la estación 2 mediante el método racional	51
Tabla 12. Estimación del caudal máximo para la estación 3. Mediante el método racional	52
Tabla 13. Datos numéricos de las áreas de inundación para su respectivo periodo de retorno	71

Capítulo 1. Estudio Hidrológico E Hidráulico Para El Tramo Del Rio Sardinata Dentro De La Zona De Influencia Del Corregimiento Campo Dos Del Municipio De Tibu Norte De Santander

1.1. Descripción De La Alcaldía Municipal De Tibu Norte De Santander

El 25 de mayo de 1952, los padres Tomás María Vergara y Alfonso Gutiérrez, O.P3., fundaron la parroquia y trazaron las primeras calles distribuyendo los lotes para edificar las primeras casas, hechos por los cuales se les acredita la fundación de Tibú. La actividad de explotación petrolera, que se inició en el hoy corregimiento auxiliar de Petrolea, se fue extendiendo hacia el norte del departamento, donde se estableció el sitio Puente Barco o kilómetro 60 que dio origen a las poblaciones que hoy en día conforman

la zona 4 de la Gabarra. Hacia el año 1.971 el territorio adquirió el nombre de Unidad Piloto Administrativa de Tibú, dadas las condiciones especiales que poseía y siendo posteriormente erigido en Municipio mediante ordenanza No. 03 de 1.977 emanada de la Asamblea del Departamento

Desde el año 1995 el Municipio se encuentra dividido en cuatro zonas administrativas así: No 1 Zona 1 Tibú Urbana y Zona 1 Tres Bocas Rural, No 2 Campo Dos, No 3 Pacelli y No 4 La Gabarra; cuenta con los Corregimientos: especial de la Gabarra, especial de Pacelli, especial de Campo Dos, y los corregimientos auxiliares de Versalles, La Silla, La Llana, Petrolea, Rio de Oro, Campo Giles y Tres Bocas, que incluyen 180 veredas

1.1.1 Misión. Promover, generar y desarrollar planes integrales para lograr el crecimiento y bienestar de la comunidad; el desarrollo físico ordenado del territorio y el desarrollo del área administrativa del municipio de Tibu Norte de Santander

1.1.2 Visión. Ser una entidad reconocida, respetada y de referencia obligatoria para la toma de decisiones que orienten el desarrollo humano sostenible en el Departamento Norte de Santander.

1.1.3 Objetivos general corporativo. LA POLÍTICA DE DENSIFICACIÓN Y OCUPACIÓN RACIONAL DEL SUELO URBANO. Promover la densificación de las áreas libres dentro del perímetro urbano y suburbano a fin de controlar la expansión del área urbana y suburbana y racionalizar la utilización de los terrenos disponibles para futuros desarrollos.

LA POLÍTICA DE PROMOCIÓN DE LA DESCENTRALIZACIÓN

ADMINISTRATIVA. Consolidar el proceso de descentralización y lograr su sostenibilidad a mediano y largo plazo, a través del fortalecimiento de las finanzas territoriales, para hacer de ellas entidades viables que aseguren con sus ingresos propios su funcionamiento y promueva el desarrollo municipal

1.1.5 Descripción De La Dependencia En La Cual Fui Asignado.

La secretaria municipal de planeación de la alcaldía de Tibu Norte de Santander es la dependencia de la alcaldía municipal la cual se encarga de direccionar las estrategias territoriales, departamentales y nacionales aunando esfuerzo con las demás secretarías que integran la alcaldía municipal en búsqueda de mejorar la calidad de vida de cada uno de los habitantes del territorio

1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia en la cual fui asignado

Tabla 1. Diagnóstico Inicial.

DEBILIDADES	OPORTUNIDADES
<p>Pocos equipos de campo (GPS), para la toma de datos e informaciones de suma importancia. Y software específicos de análisis (SIG, AutoCAD, etc)</p> <p>Faltan equipos (computadores), con la capacidad de RAM y procesadores para la elaboración de este tipo de estudios.</p> <p>Limitaciones para el acceso a la información.</p>	<p>Buena disposición para adquirir conocimientos.</p> <p>Aprendizaje y práctica permanente.</p> <p>Crecimiento personal, para la toma de decisiones en nuestro rol profesional.</p> <p>Buena información e investigación sobre el riesgo por remoción en masa en cada una de las comunas que componen la ciudad</p>
FORTALEZAS	AMENAZAS
<p>Apoyo de las dependencias de la CORPORACION para el desarrollo del</p>	<p>Alteración del Orden Público.</p>

trabajo

Dependencia que promueve la gestión ambiental colectiva y participativa en nuestro Municipio y Departamento.

Difícil acceso a la zona por razones de seguridad

Organización para las entregas de informes técnicos según formatos establecidos por el sistema de gestión de calidad de la Entidad.

.

Experiencia y conocimiento sobre la Gestión del riesgo

Capacidad de entrega permanente en las diferentes actividades a desarrollar.

Mejoras continuas en los procesos que se llevan a cabo.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Formular estudio hidrológico e hidráulico para el para el tramo del río Sardinata en la zona de influencia del corregimiento campo dos del municipio de tibu norte de Santander

1.3.2. Objetivos específicos. Realizar el estudio Hidrológico del río Sardinata en la zona de influencia del corregimiento de campo dos mediante lo determinado en la resolución 865 del 2004 del Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos IDEAM

Formular el modelo hidráulico unidimensional HecRas para el río Sardinata calculando las zonas de inundación para diversos periodos de retorno

Determinar las zonas de riesgo por inundación para el corregimiento de campo dos en Tibu Norte de Santander

1.4 Descripción De Las Actividades A Desarrollar

Tabla 2

Descripción de las actividades

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	ACTIVIDADES A DESARROLLAR PARA HACER POSIBLE EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJ. ESPECIFICOS
	Realizar el estudio Hidrológico del río sardina en la zona de	1. Gestión de información secundaria , la cual debe provenir de las bases de datos de la alcaldía municipal, CORPONOR y bases de datos nacionales (esta información incluirá; estudios anteriores a este en la zona de estudio o en otra zona, cartografía base, bases de datos, planos, etc).

**Formular estudio
hidrológico e
hidráulico para el río
Sardinata dentro de la
zona de influencia del
corregimiento campo
dos del municipio de
tibu norte de
Santander**

influencia del corregimiento de campo dos mediante lo determinado en la resolución 865 del 2004 del Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos IDEAM

2. visitas a campo mediante las cuales se realizara la identificación de las estructuras hidráulicas construidas en el cauce del río Sardinata , estas visitas a campo permitirán realizar el diagnostico de estas obras, al igual que la identificación de factores físicos que puedan favorecer los procesos de inundación en las áreas vulnerables.

3. Procesar la información climática del IDEAM con series de tiempo de 25 años

Determinar los caudales superficiales para cada uno de los periodos de retorno

Formular el modelo hidráulico unidimensional HecRas para el río Sardinata calculando las zonas de inundación a los periodos de retorno de 5, 10, 15,20 50,100 años

Realizar el levantamiento topográfico de la ronda del río Sardinata en la zona de influencia del estudio

Realizar el Levantamiento Batimétrico para el fondo del río Sardinata en la zona de influencia del estudio

Visitas oculares para Geolocalizar los puntos críticos de acuerdo a la información histórica entregada por los habitantes del sector

Determinar las zonas de riesgo y amenaza por inundación para el corregimiento de campo dos en Tibu Norte de Santander

Fuente. Pasante 2018

Capítulo 2 Marco Referencial

A continuación se presentan los conceptos desarrollados en la presente pasantía y los cuales sirvieron como base para el desarrollo de la misma en la corporación autónoma regional CORPONOR seccional Tibu Norte de Santander como primera parte de este marco referencial se desarrolló el marco conceptual teniendo en cuenta los conceptos más relevantes a nivel científico e investigativo enfocados en lo referente a estudios hidrológicos e hidráulicos para la determinación de cotas de inundación

2.1 Marco conceptual

De los conceptos de mayor importancia para esta investigación son los referentes a la cuenca hidrográfica y sus características morfométricas ya que es a partir de estas características que se podrán calcular factores como el tiempo de concentración el cual es fundamental para el desarrollo del método racional y cálculo de tiempos o periodos de retorno

Características morfométricas: Las características morfométricas o físicas de una cuenca se vinculan fuertemente con el comportamiento de los caudales que fluyen de la misma. Los parámetros morfométricos hacen parte de un conjunto de cálculos realizados, normalmente, para estudios hidrológicos de aprovechamiento o control. Según Gaspari (2012) (como se citó en Lux, 2016), “es un conjunto de variables de tipo lineal para superficie, de relieve y de drenaje; las cuales permite conocer las características físicas de un área natural de drenaje o cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias unidades hidrográficas, así como ayuda a la

interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo”. En tal sentido, permiten determinar cómo será la respuesta hidrológica de la cuenca ante eventos climatológicos.

Es importante aclarar que según, Ruiz (2001) la morfometría de la cuenca, permite el estudio de la equivalencia de los diferentes tamaños de los flujos para ser aplicados en modelos de pequeña y gran escala. Muchos de los objetivos de determinar estas características, se encaminan a inferir potenciales crecidas en posibles eventos de tormentas cuyas consecuencias llaman la atención en los procesos de utilización y ocupación del territorio, así como en la definición de medidas de tipo estructura para el control de crecidas excepcionales (como se citó en Delgadillo y Moreno, 2011). Los parámetros morfométricos determinados para la cuenca de estudio se detallan a continuación

Área de la cuenca o microcuenca: Esta característica corresponde a la superficie delimitada por lo que se denomina cotidianamente la divisoria de aguas; éste parámetro se expresa generalmente en km^2 y esto es porque es una unidad de fácil lectura numérica y parametral. Es de aclarar que el valor de esta variable es de suma importancia para el estudio hidrológico e hidráulico dado que un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastada para validar los resultados en este valor. (Ruiz;2015)

Perímetro de la microcuenca o del área superficial de drenaje: Este factor se puede considerar como la línea formada por el parteaguas o divisoria de la cuenca de estudio; este

parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros.

Esta características se relaciona con otras morfométricas.

Longitud de la corriente o cauce principal: Esta variable hace referencia a la longitud del cauce de agua y el cual le da nombre a la cuenca de estudio; en este parámetro se tienen en cuenta las irregularidades y curvas de dicho cauce; este parámetro se expresa normalmente en kilómetros. (Ruiz;2015)

Pendiente De La Corriente Principal: Como su nombre lo indica, representa el desarrollo de lo que se denomina perfil del cauce principal. Para poder realizar el cálculo de este parámetro se recurrió a la estimación a través del SIG Arc/GIS, mediante el procesamiento del DEM (MODELO DIGITAL DE ELEVACION), que fue generado para la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en grados y/o en porcentaje. Esta característica contribuye a calcular la velocidad de la escorrentía superficial de la corriente de agua, en donde a mayor pendiente, mayor velocidad del agua; este parámetro se asocia al régimen hidráulico de la corriente y a su comportamiento torrencial (Ruiz;2015)

Coefficiente De Compacidad (Kc): Este parámetro se define para representar de forma cuantitativa la geometría de la cuenca y es la relación entre el perímetro de la cuenca en km y el perímetro de un círculo de área igual al área de drenaje de ésta. El coeficiente de compacidad para cuencas alargadas o irregulares es un poco mayor a la unidad. (Ruiz;2015)

Factor De Forma (Kf): según (Ruiz; 2015), El factor de forma representa de una manera cuantitativa lo que se denominada en hidrología la geometría de la cuenca. Es la relación existente entre el área de la cuenca y la longitud de la corriente principal elevada al cuadrado. El factor de forma menor que uno comprueba la forma alargada de las cuencas; una cuenca con factor de forma bajo es menos propensa a crecientes o eventos extremos

Pendiente Media De La Cuenca: Es el índice que representa la pendiente media de las trayectorias que sigue el agua que escurre por las laderas hacia la quebrada. La pendiente media se da en porcentaje o m/m. Esta característica controla gran parte de la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta el tiempo que le toma al agua de la lluvia para concentrarse en los cauces que hacen parte de la red de drenaje de la cuenca.

Número De Orden: Este parámetro que tiene como función definir el grado de ramificaciones que presenta la cuenca. Para esta clasificación fue usado el método de Gravelius, el cual considera que el río más grande debe ser de orden 1, sus afluentes de orden 2 y así sucesivamente.

Tiempo De Concentración: Desde el punto de vista teórico se considera como el tiempo del recorrido de una gota de agua de lluvia la cual escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo son empleadas diferentes fórmulas las cuales se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca. Para el cálculo del tiempo de concentración se recomienda emplear varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica se considera apropiado incluir al menos cinco estimaciones diferentes, (Chow et al., 1994; Smith y Vélez, 1997; Linsley et al., 1990, Viessman y Lewis, 2003, Vélez y Botero, 2011).

A continuación se presentan los términos usados en esta investigación sobre los parámetros hidrológicos tenidos en cuenta para el desarrollo del mismo.

Criterios hidrológicos: como lo argumenta (Estefan Cárdenas; 2013) ; El principal criterio para el diseño hidrológico corresponde a la definición de los períodos de retorno, para los cuales no existe una normatividad la cual es suficientemente clara , aunque en ocasiones las entidades proponen unos valores de acuerdo a su experiencia. Por ejemplo en el caso de proyectos viales se propone realizar los cálculos para varios periodos de retorno, usualmente se emplean de 10, 25, 50, 100 y 200 años, a partir de los cuales se calculan los caudales máximos, así como las zonas de inundación asociadas a cada uno de estos períodos de retorno. Con este conjunto de datos se le hace posible al ingeniero tomar una decisión sobre el período de retorno para cada obra. Para el diseño hidrológico de obras mayores se propone emplear el período de retorno de 200 años, ya que cuando el costo de las obras es elevado se requiere una protección adecuada ante las posibles eventualidades máximas.

Períodos de retorno: según (Perez;2014) En la hidrología aplicada se usa indiscriminadamente el concepto de probabilidad $p(x)$ o de período de retorno T , entendido como un porcentaje de los años de ocurrencia de un evento extremo; por lo que si un suceso extraordinario se presenta (por término medio) cada T años, su probabilidad es de $1/T$. Análoga e inversamente, si la probabilidad de que algo suceda es de $x\%$, quiere decir que, en promedio, sucederá x veces en 100 años. Estos conceptos se relacionan mediante la expresión:

$$p(x) = \frac{1}{t}$$

Es importante aclarar en hidrología se usa de forma más frecuente el período de retorno que la probabilidad.

2.2. Marco Teórico

La hipótesis fundamental para el diseño hidrológico, cuando no se dispone de la suficiente cantidad de información sobre los caudales en la zona del proyecto, se desarrolla la metodología de la relación lluvia-escorrentía que existe en la naturaleza y menciona que una lluvia máxima estimada para un período de retorno dado produce un caudal máximo para ese mismo período de retorno. Esta hipótesis se acepta aun siendo conscientes de la no linealidad existente entre la lluvia y la escorrentía. Una vez se acepta esta hipótesis es posible acudir a la aplicación de diferentes métodos hidrológicos lluvia-escorrentía que en la literatura científica son numerosos y todos ellos arrojan resultados muy diferentes, por lo que se recomienda emplear varios modelos hidrológicos con el fin de contrastar los resultados y reducir la incertidumbre asociada a la estimación de los caudales máximos.

2.2.1. Intensidad de la lluvia máxima. La intensidad de la lluvia máxima puede ser calculada con base en las curvas Intensidad -Duración - Frecuencia (IDF) disponibles de estaciones ubicadas en la zona de estudio. Estaciones con información temporal inferior a la diaria y con un registro suficientemente largo normalmente disponen de las curvas IDF, en caso contrario es posible calcularlas mediante diferentes metodologías clásicas (Chow et al., 1994).

(Vélez y Botero; 2014) afirman que La hipótesis para la estimación de las lluvias máximas supone que la duración de los aguaceros máximos es equivalente al tiempo de concentración de la cuenca, con un valor mínimo de 5 minutos, siendo además función del período de retorno. Aunque esto no es necesariamente cierto se considera aceptable.

2.2.2. Cálculo de caudales máximos. Para la determinación de caudales máximos en una cuenca existen numerosas metodologías, algunas de las cuales emplean registros hidrométricos históricos y otros, que son más usados parten de la información de lluvias para la obtención de caudales máximos; dichos métodos son denominados normalmente, lluvia-caudal o lluvia-escorrentía.

Para la estimación de los caudales máximos para los diferentes períodos de retorno se emplearon diversas metodologías las cuales se describen a continuación (Segura y Reyes, 1992; Chow et al.; 1994; Suárez, 2001; Linsley et al., 1990; Viessman y Lewis, 2003).

En aquellos casos en los que la información es escasa, comúnmente se recurre a los métodos empíricos, con la aclaración que los resultados que estos métodos deben ser mirados con mucho cuidado ya que el nivel de incertidumbre pudiera ser superior al aceptable para un objetivo determinado. Es necesario definir en un comienzo, si la cuenca a la que se está aplicando un método específico tiene características similares a las de la cuenca para la cual fue desarrollada dicha ecuación.

Algunos de estos métodos requieren de unos datos adicionales a los ya calculados, éstos se presentan a continuación

2.2.3. Coeficiente de escorrentía. El coeficiente de escorrentía (C) es la relación entre el volumen de la escorrentía total Esc , y el volumen de agua precipitado para un mismo período de tiempo determinado Ppt .

$$C = \frac{Esc}{Ppt}$$

Es una tarea compleja poder determinar este parámetro a partir de información observada; por tanto, normalmente se recurre a estimativos a través del uso de tablas. El parámetro C es estimado por muchos autores mediante tablas que dependen del tipo y usos del suelo, asignando un valor de C a cada unidad. Sin embargo, Suárez (2001) propone una metodología que se tiene en cuenta además del tipo y uso de suelo, el período de retorno Tr y la pendiente del terreno S .

2.2.4. Obtención del número de curva NC. El número de curva es uno de los parámetros requeridos para realizar modelación hidrológica de cuencas tendiente a estimar los caudales máximos por la metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (SCS) (Chow et al., 1994).

La infiltración es el proceso por el que la precipitación se mueve hacia abajo a través de la superficie del suelo, aumentando la humedad del suelo. Uno de los métodos más extendidos y experimentados de los modelos empíricos de infiltración es el propuesto por el SCS (McCuen,

1982). Este modelo asume la hipótesis conceptual de que la escorrentía acumulada en una porción de la cuenca es a la infiltración acumulada, como la precipitación bruta acumulada, una vez descontada la fracción necesaria para que se produzca el encharcamiento, a la máxima infiltración acumulada que puede producirse (0), es decir:

$$\frac{Q}{F} = \frac{P - P_0}{S}$$

Siendo S la máxima infiltración potencial, F la infiltración real después del encharcamiento, P la precipitación, Q la escorrentía a superficial y Po el umbral de escorrentía, es decir, la cantidad de precipitación necesaria para que el suelo se encharque y se dé inicio a la escorrentía a superficial

Considerando que por continuidad se debe cumplir: $F = (P - P_0) - Q$ y asumiendo una relación media experimental entre el umbral de escorrentía y la máxima infiltración potencial de:

$P_0 = 0,2S$ se llega a la siguiente ecuación:

Características de la superficie	Pendiente %	Período de retorno, Tr (años)						
		2	5	10	25	50	100	500
Coeficiente de escorrentía C								
Mezcla asfáltica		0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1
Concretos y techos		0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1
Pastos y parques con 50% de cobertura	0-7 %	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
	Más del 7%	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Pastos y parques con 50 a 75% de cobertura	0-7 %	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
	Más del 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Pastos y parques con más del 75% de cobertura	0-7 %	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
	Más del 7%	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Tierra cultivada	0-7 %	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
	Más del 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Bosque	0-7 %	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
	Más del 7%	0,35	0,39	0,41	0,40	0,48	0,52	0,58

Ilustración 1. Valores de C (coeficiente de escorrentía)

Fuente. Suárez (2001)

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Los estudios empíricos realizados por el SCS permitieron relacionar la máxima infiltración potencial con un parámetro de referencia, denominado número de curva, NC, cuyos valores están tabulados entre 0 y 100.

$$S = \frac{1000}{NC} - 10$$

Témez (1978, 1991, 2003) llevo a cabo una reclasificación del número de curva para España teniendo en cuenta la pendiente natural del terreno y las diferentes condiciones de humedad y usos del suelo; en la cual los suelos se clasifica en cuatro grupos, A, B, C, y D y se identifican claramente en la zona de estudio para poder asignar un número de curva propio de cada uno, estos se definen como:

Tabla 3 .Tipo de suelos segun sus características hidrogeologicas

Clase	Descripción
A	En ellos el agua se infiltra rápidamente, aun cuando estén muy húmedos. Profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno-limosas), están excesivamente drenados.
B	Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada. La profundidad de suelo es de media a profunda y su textura es franco-arenosa, franca, franco arcillosa o franco-limosa. Están bien o

moderadamente drenados.

C Cuando están muy húmedos la infiltración es lenta. La profundidad de suelo es inferior a la media y su textura es franco-arcillosa, franco arcillo- limosa o arcillo-arenosa.

Son suelos imperfectamente drenados.

Cuando están muy húmedos la infiltración es muy lenta.

D Tienen horizontes de arcilla en la superficie o próximos a ella y están pobremente o muy pobremente drenados.

También se incluyen aquí los terrenos con nivel freático co permanentemente alto y suelos de poco espesor (litosuelos).

Fuente Montserrat (1995).

2.2.5. Método racional. Este método se aplica normalmente a cuencas pequeñas y los resultados obtenidos así son aceptables para dichos casos. Sin embargo, también es empleado en cuencas de tamaño medio si se hacen las hipótesis mínimas requeridas. Para estimar caudales máximos a través del método racional se considera que la lluvia cae con una intensidad uniforme en toda la cuenca y que el valor del coeficiente de escorrentía representa toda el área de la cuenca. Una vez estimados todos los parámetros necesarios para el cálculo de los caudales máximos, se procede a su estimación a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_p = 0,278 * C * I * A$$

Donde Q_p es el caudal máximo en m^3/s para el periodo de retorno Tr dado, C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad en mm/h , A es el área que está dada en km^2 .

2.2.6. Método empírico. Este método emplea una ecuación sencilla para la estimación del caudal máximo en m^3/s , en la que se relaciona la lluvia con un período de retorno de 10 años, P_{10} , el periodo de retorno Tr y el área de la cuenca A en km^2 :

$$Q=0,06*P_{10}*Long (Tr)*A^{0,75}$$

Los métodos empíricos sólo sirven para dar una idea sobre el orden de magnitud de los caudales máximos.

2.2.7. Método de Burkli –Zegler. Este método emplea la siguiente ecuación propuesta por estos autores para la estimación de caudales:

$$Q= 27,78*C*I*S^{1/4}* A^{3/4}$$

Donde C es el coeficiente de escorrentía a I es la intensidad de la lluvia (mm/h), S es la pendiente media de la cuenca (mm/m) y A es el área (km^2)

2.2.8. Hidrograma unitario triangular. Conociendo el hidrograma unitario de una cuenca es posible calcular el hidrograma producido por cualquier precipitación suponiendo linealidad en la relación lluvia-escorrentía. Inicialmente se analizan las metodologías más simples, las cuales emplean información geomorfológica y datos de lluvia máxima para la estimación de los caudales máximos.

El Hidrograma unitario triangular simplifica la forma del hidrograma con la forma de un triángulo, donde los parámetros del hidrograma son el caudal punta Q_p , el tiempo base t_b y el

tiempo en el que se origina la punta máxima en los caudales T_p , tal como se muestra en la Figura

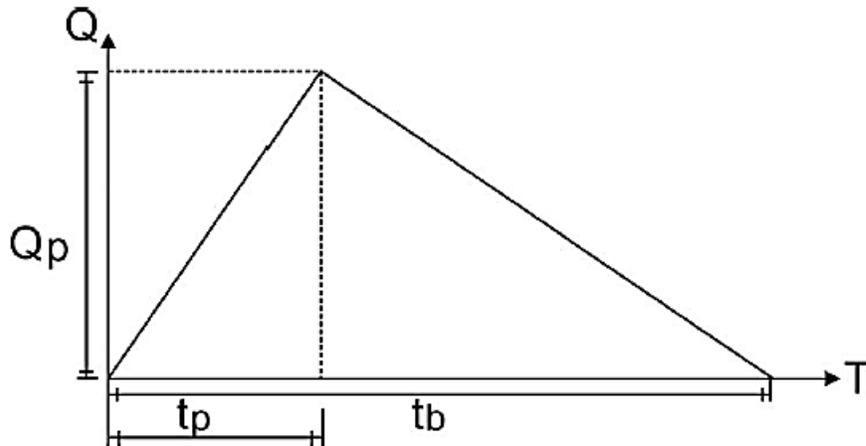


Figura 1. Esquema descriptivo del Hidrograma unitario triangular

Fuente. Chow et al. (1994)

Se supone entonces que un hidrograma triangular que puede ser construido de forma simple mediante las siguientes expresiones:

$$\text{ECU}_1 \quad Q_p = \frac{2,0 * I * t_0}{2,67 * \left(\frac{t_0}{2}\right)}$$

ECU₂

$$T_p = 0,6 * t + \left(\frac{t_0}{2}\right)$$

En donde, I es la intensidad de la lluvia (mm/h), t_0 es la duración del hidrograma unitario, t_c es el tiempo de concentración de la cuenca, t_p es el tiempo del caudal punta, H es el desnivel desde el punto más alto de la cuenca al punto de desagüe

El SCS propone sus propias relaciones para los parámetros del hidrograma triangular, para el tiempo del caudal pico en horas:

$$T_p = 0,5 * D + 0,6 * t_c$$

Siendo D la duración de la lluvia efectiva y t_c el tiempo de concentración. Para el caudal punta en m^3/s proponen la expresión:

$$Q_p = \frac{0,208 * P_{efectiva} * A}{t_p}$$

Para el tiempo base en horas:

$$T_b = 2,67 * t_p$$

2.2.9. Hidrograma unitario de Clark. Se trata de un método de Hidrograma unitario sintético utilizado cuando no se dispone de información o con información escasa. El hidrograma unitario se estima como una curva de tiempo de viaje contra el área. La traslación del flujo es realizada mediante un embalse lineal que tiene en cuenta la atenuación del flujo a lo largo del avance por la cuenca.

El tiempo de concentración se define como el tiempo de viaje máximo en la cuenca y es utilizado para la traslación del flujo por el cauce. Los parámetros que utiliza el modelo Hidrograma unitario de Clark son el tiempo de concentración de la cuenca T_c y el coeficiente de almacenamiento R, el cual según USDA & NRCS (2010) puede ser estimado mediante la expresión:

$$R = 0,7 * T_c$$

2.2.10. Modelo de Snyder. Este modelo fue desarrollado por Franklin F. Snyder en 1938, constituye un método empírico, cuya principal característica relacionada con el aspecto físico de la cuenca es el tiempo de rezago t_l asumiendo que es constante para una cuenca, que depende de sus características físicas y no está determinado por el tiempo de lluvia. A continuación se presentan las ecuaciones del modelo mediante las cuales se obtienen siete puntos del Hidrograma unitario sintético para una cuenca dada.

Ecuación 1
$$T_l = C_t (LL_{ca})^{0,3}$$

Ecuación 2
$$t_s = \frac{t_l}{5,5}$$

Donde t_l es el tiempo de rezago en horas, C_t es el coeficiente propio del modelo, que involucra la influencia de la topografía y las pendientes de los canales, L es la longitud del canal principal en millas, L_{ca} es la distancia desde la salida de la cuenca, hasta su centroide, medida a lo largo del canal principal y expresada en millas, y t_s es la duración de la lluvia efectiva seleccionada por Snyder, en horas; las ecuaciones para estimar el caudal máximo Q_p son las siguientes:

$$Q_p = C_p \frac{640}{[t_l + (t_d - t_s)/4]}$$

$$Q_p = q_p A$$

$$t_b = 3 + 3 \frac{t_l}{24}$$

$$t_p = \frac{t_d}{2} + t$$

Donde el valor 640 corresponde a la escorrentía la cual es expresada pies cúbicos por segundo, producida por una lluvia efectiva de lámina 1 pulgada, de una hora de duración, sobre un área de 1 mi²; t_d es la duración en horas de la lluvia efectiva a la que se le calcula el hidrograma, C_p es el coeficiente propio del modelo, que según Snyder indica el efecto de almacenamiento en la cuenca, q_p es el caudal pico por unidad de área en cfs/mi², A es el área de la cuenca en mi², Q_p es caudal pico del hidrograma unitario sintético en pie³/s, t_b es el tiempo base en días, con t_l en horas, t_p es el tiempo al pico en horas.

2.2.11. Cálculo de la precipitación efectiva . Se entiende como precipitación efectiva, aquella precipitación que efectivamente produce escorrentía, por lo que es preciso calcular la lluvia efectiva como la lluvia registrada o medida, menos la evapotranspiración, y descontando las pérdidas hidrológicas o pérdidas iniciales, que normalmente se expresan como un porcentaje de la precipitación total. Las pérdidas hidrológicas se refieren al agua que es interceptada en árboles, tejados, vegetación y en los charcos.

2.2.12. Escorrentía. Para el cálculo de la escorrentía es necesario hacer uso de una ecuación simple de balance, ya que la precipitación efectiva es la que produce la escorrentía, por lo que ambos volúmenes de agua deben ser iguales.

Capítulo 3 Entrega De Resultados

3.1. Realizar el estudio Hidrologico del rio Sardinata en la zona de influencia del corregimiento de campo dos mediante lo determinado en la resolución 865 del 2004 del Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos IDEAM.

El estudio hidrologico para el rio Sardinata se realizó únicamente para su zona de influencia en el corregimiento campo dos del municipio de tibu Norte de Santander. Campo dos es uno de los corregimientos de este municipio norte santandereano, en la siguiente figura se aprecia la Localizacion del corregimiento campo dos como zona de estudio

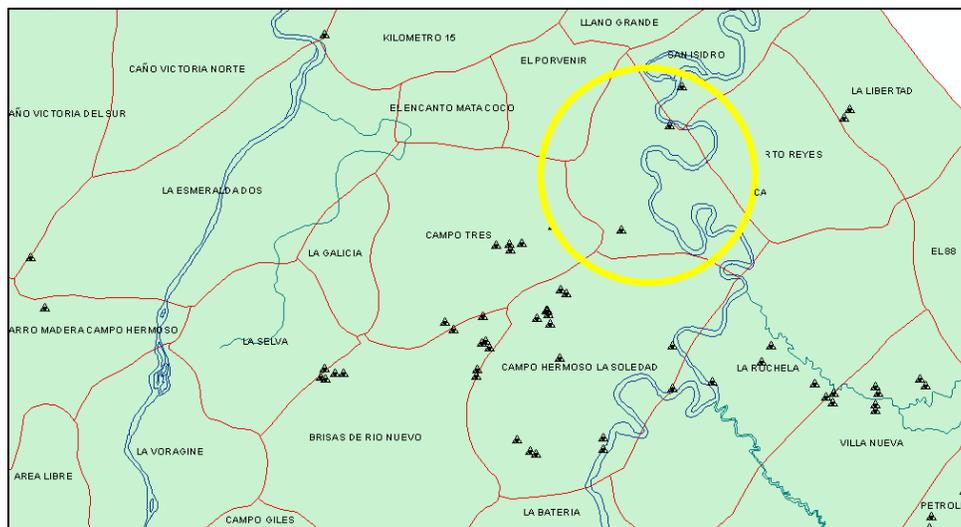


Figura 2 . Localizacion de la zona de estudio

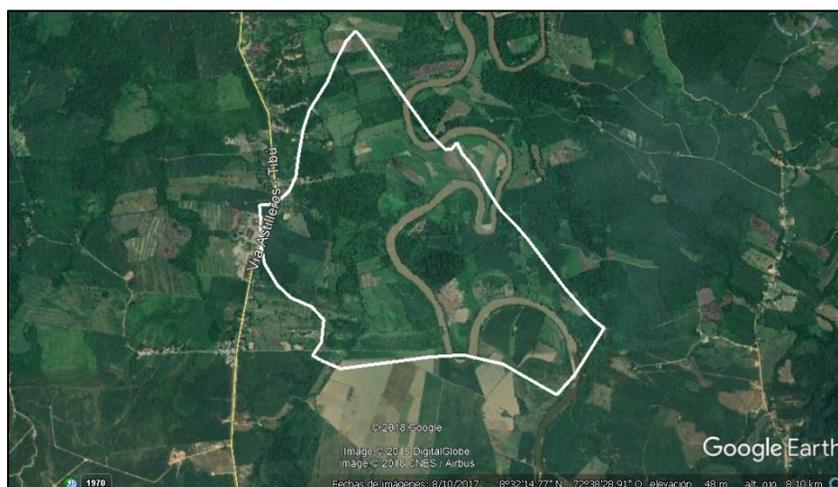
Fuente. Pasante

Las coordenadas geográficas para su Localizacion se entregan a continuacion en la tabla N02, las coordenada fueron extraídas de los archivos oficiales de informacion cartográfica la cual fue facilitada por la administración municipal y la seccional de CORPONOR

Tabla 1. Coordenadas Localizacion campo dos Tibu

Latitud	Longitud
8°33'12.32"N	72°37'34.16"O
8°31'25.30"N	72°36'13.59"O
8°31'4.45"N	72°36'30.79"O

Fuente. Pasante

**Figura 3. Imagen de Campo Dos Corregimiento de Tibu**

Fuente. Google Earth Pro 2018

3.2. Hidrografía

Como se puede observar en el mapa de hidrografía de tibu, el corregimiento de campo dos se encuentra irrigado por el rio Sardinata el cual lo recorre en sentido norte sur a este tramo del rio Sardinata le tributa un drenaje natural sencillo el cual no cuenta con ordenación por parte de CORPONOR

El río Sardinata Nace en el Páramo de Guerrero a 3.400 m.s.n.m. en su territorio colombiano tiene una dirección noreste y en el sitio llamado Tres Bocas (municipio de Tibú) recibe las aguas de los ríos Tibú y Presidente, adentrándose en territorio venezolano, donde es conocido con el nombre de Tarra. Tiene una longitud aproximada de 170 kms., en su recorrido, baña los municipios de Bucarasica, Lourdes, Sardinata, Tibú y Villa Caro.

Recibe en el trayecto que recorre, por la margen izquierda, las quebradas San Juana, La Amarilla, La Esperanza y La Vega; por la margen derecha, los ríos Riecito y San Miguel y las quebradas de La Sapa, José, La Esmeralda, La Resaca y la de Pedro José que desemboca en Puerto Reyes. De este sitio sigue el Sardinata por territorio colombiano hasta el punto de Tres Bocas, para continuar luego por territorio venezolano hasta entregar sus aguas en el Catatumbo.

Respecto a las cuencas hidrográficas el corregimiento de campo dos se encuentra bajo la influencia de la microcuenca hidrografica K.4.0 CUENCA DEL RIO SARDINATA la cual presenta un área superficial de 214762159km²

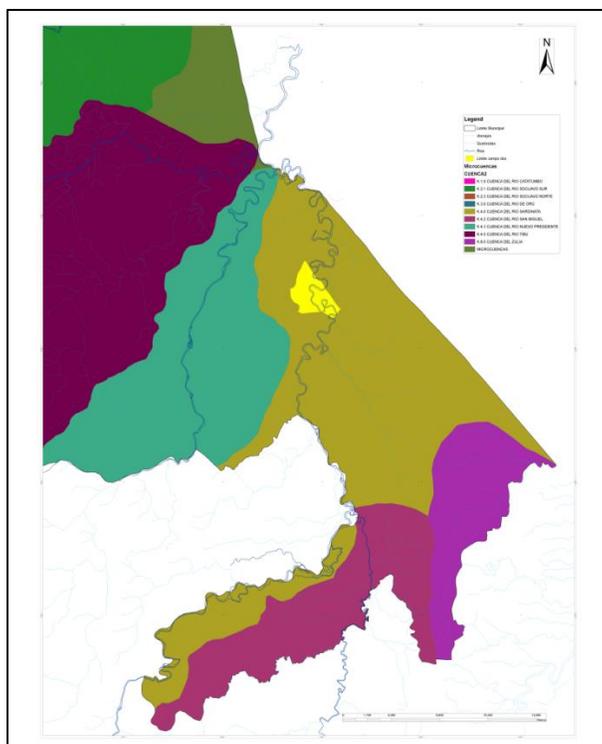


Figura 4. Mapa de microcuencas

Fuente. Pasante

3.3. Microcuenca K.4.0 río Sardinata

La microcuenca se encuentra delimitada por las coordenadas geográficas que se encuentran en la tabla No3,

Tabla 2. Coordenadas de la microcuenca

8°36'31.38"N	72°38'31.95"O
8°25'38.12"N	72°28'0.81"O
8°25'33.68"N	72°40'51.73"O

Fuente. Pasante

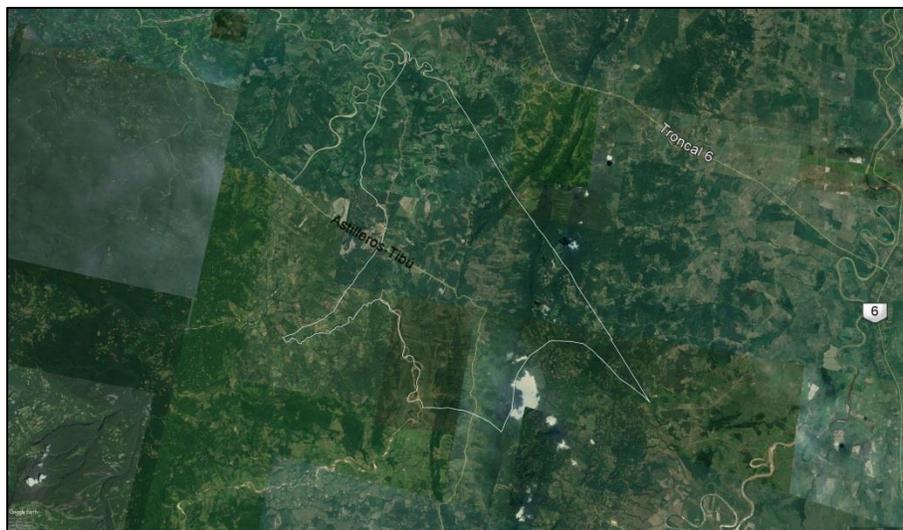


Figura 5. Imagen Satelital de la microcuenca

Fuente. Google Earth Pro 2018

íst

3.4. Características morfométricas de la microcuenca

Las características morfométricas o físicas de una cuenca o microcuenca se vinculan fuertemente con el comportamiento de los caudales que fluyen de la misma. Los parámetros morfométricos componen un conjunto de cálculos realizados, normalmente, para estudios hidrológicos de aprovechamiento o control. Según Gaspari (2012) (como se citó en Lux, 2016), “es un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y de 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”. En tal sentido, permiten determinar cómo será la respuesta hidrológica de la cuenca ante eventos climatológicos.

Además, según Ruiz (2001) la morfometría de la cuenca, permite el estudio de la equivalencia de los diferentes tamaños de los flujos para ser aplicados en modelos de pequeña y gran escala. Muchos de los objetivos de determinar éstas características, se encaminan a inferir

potenciales crecidas en posibles eventos de tormentas cuyas consecuencias llaman la atención en los procesos de utilización y ocupación del territorio, así como en la definición de medidas de tipo estructura para el control de crecidas excepcionales (como se citó en Delgadillo y Moreno, 2011). Los parámetros morfométricos determinados para la cuenca de estudio se detallan a continuación.

Tabla 3. Características morfométricas de la microcuenca

PARÁMETROS MORFOMÉTRICO MICROCUENCA		
DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
SUPERFICIE		
Área	km ²	2147621
Perímetro de la cuenca	km	87.45
COTAS		
Cota máxima	mtrs	50
Cota mínima	mtrs	2
Centroide (PCS: MAGNA_Colombia_Bogota)		
X centroide	m	1068379.923
Y centroide	m	1429760.276
Z centroide	msnm	1452.208369
ALTITUD		
Altitud media	msnm	22
Altitud más frecuente	msnm	33
Altitud de frecuencia media (1/2)	msnm	18

PENDIENTE		
Pendiente promedio de la cuenca	%	2
RED HÍDRICA		
Longitud del curso principal	km	27.393
Orden de la red hídrica	UND	7
Longitud de la red hídrica	km	882.317408
Pendiente promedio de la red hídrica	%	1.514318437
PARÁMETROS GENERADOS		
Tiempo de concentración	Horas	2.370283605
Pendiente del cauce principal	m/km	5,45

Fuente. Pasante 2018

Tabla 4. Cuadro de áreas

TIPO	ÁREA	ÁREA (m²)
	(km²)	
A1	5.69703125	5697031.25
A2	8.328125	8328125
A3	14.52140625	14521406.25
A4	18.956875	18956875
A5	22.5265625	22526562.5
A6	27.13	27130000
A7	27.149375	27149375
A8	23.36703125	23367031.25

A9	16.3196875	16319687.5
A10	8.39421875	8394218.75
A11	3.0409375	3040937.5
A12	0.64453125	644531.25

Fuente. Pasante

Tabla 5. Datos de cálculo

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Cota mínima (msnm)	msnm	2
Cota máxima (msnm)	msnm	50
Número de intervalos	UND	12
Altura de intervalo	msnm	2.000
Altitud media	msnm	22
Altitud más frecuente	msnm	33.00
Altitud de frecuencia	msnm	18
1/2		

Fuente. Pasante

3.5 Recolección y análisis de los datos

Para el presente estudio, se llevó a cabo la consulta del catálogo nacional de estaciones del IDEAM, disponible en su página web, en formato Excel y SHP. Dicho catálogo proporciona

información geográfica de las estaciones mediante el cual se realizó una superposición de éstas en la zona de estudio, con el objeto de identificar cuáles de estas estaciones generan influencia en la zona de estudio. Así mismo, se verificó que las estaciones seleccionadas se encontraran en estado activo y con un registro de información mayor o igual a 25 años, tomando en consideración la recomendación de la UNESCO de que “para calcular balances hídricos medios son necesarias series extensas de precipitación (alrededor de 25 - 50 años)” (Sokolov y Chapman, p.27, 1981)

La información temporal (precipitación) se solicitó al instituto de estudios ambientales y meteorológicos (IDEAM), mediante su portal WEB oficial, con información de los últimos 20-25 años

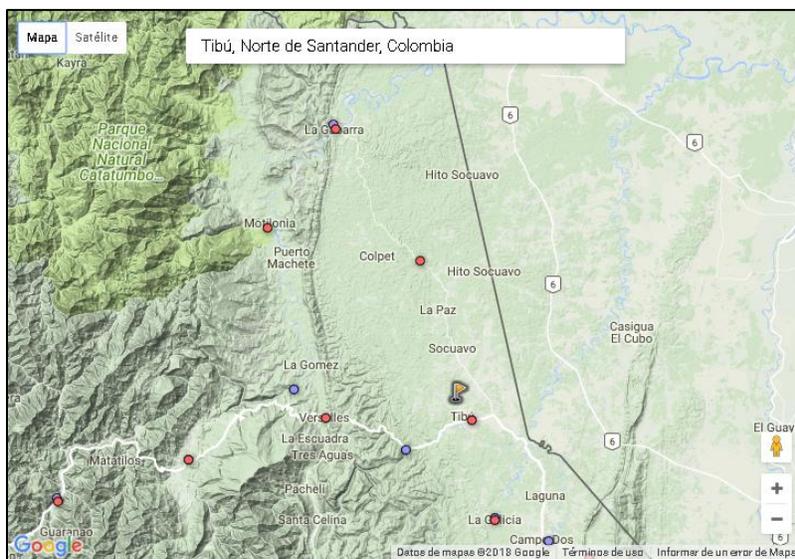


Figura 6. Imagen del portal WEB IDEAM

Fuente. <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

El periodo de análisis se estableció desde 1985 hasta el año 2016, cumpliendo así la mínima extensión de registro recomendada por la UNESCO, como se hizo mención anteriormente. Durante la verificación se hallaron estaciones con registros de precipitaciones incompletos, en cuyo caso fue necesario aplicar métodos estadísticos de completación para dicha serie diaria. Existe diversidad de cálculos para la estimación de datos faltantes como las que propone la UNESCO-ROSTALC en el marco del balance hídrico para América del Sur en 1982, pero el método de regresión múltiple ajusta mucho mejor los datos simulados a los datos originales con un menor error relativo. Para aplicar dicho método, se determinó en primer lugar la equivalencia entre las estaciones por medio del coeficiente de correlación, y posteriormente calculando para cada conjunto de estaciones, sus respectivos coeficientes de regresión. Tanto el coeficiente de correlación como los de regresión fueron calculados con las herramientas de análisis de la aplicación EXCEL. A continuación se estructuró la ecuación de regresión, dando como resultado los valores simulados que completaron cada serie de precipitación incompleta de cada estación

Por último, se verificó la consistencia de la serie de precipitación de cada estación por el método gráfico de curva de doble masa, teniendo en cuenta que “la densidad de las estaciones dentro de una misma región hidroclimática no garantiza que presente un mismo comportamiento climatológico estacional, y en segundo lugar, el ajuste de los datos de cada serie por dicho método permite reducir los efectos de influencia externa” (Arango, Dorado, Guzmán y Ruíz, pág. 7, 2012; OMM, 1994). Su hipótesis base considera que la pseudo-proporcionalidad de las estaciones puede representarse en un gráfico cartesiano. Para su representación se determinó la estación a controlar, para el cual se obtuvo el acumulado diario de la serie, que corresponde a los valores del eje Y del plano, y para el eje X, las series de precipitación de las estaciones base, una

vez promediadas y acumuladas diariamente. Si el gráfico resultante no presenta variaciones en la pendiente de la recta, se concluye la homogeneidad de la serie, si se presenta el caso contrario, se deberán corregir los valores que no cumplen con la linealidad.

3.5.1. Análisis de la precipitación de la zona. Una vez se procesó y depuro la información temporal de cada una de las estaciones del IDEAM se procedió al diseño de las Isoyetas tomando como base las precipitaciones medias y máximas mensuales las cuales se ingresaron en la base de datos climáticas de estaciones, se procedió entonces a la creación de una zona de influencia del tramo del río para de esta manera seleccionar las estaciones climatológicas que influyen directamente sobre esta zona de estudio; el área de estudio se definió en 21476 hectáreas, teniendo en cuenta las siguientes coordenadas calculadas desde el centroide

- X: 987193.366418
- Y: 1701678.78158

3.5.2. Gráficos serie de precipitación y curva de masa simple. Un gráfico de serie de precipitación, en este caso, es una simple representación de los valores de la serie en función del tiempo, las cuales permiten representar algunas características de esta como pueden ser su periodicidad, grado de variabilidad y aleatoriedad, tendencias, entre otras. Un gráfico de masa simple, también es una representación en función del tiempo, pero a diferencia del anterior, se grafica la serie acumulada de precipitación. En este análisis, las gráficas de serie de precipitación para las tres estaciones muestran una tendencia decreciente, particularidad que se observa en la gráfica de masa simple, concretamente a partir del año 2010, ya que esta refleja una curvilínea en dicho periodo y, por otro lado, la pendiente de la gráfica decrece con el tiempo.

A lo largo de toda la serie, pueden notarse además, diferentes cambios en la pendiente de la línea de la curva de masa simple, lo que indica series de precipitación con cambios en la media

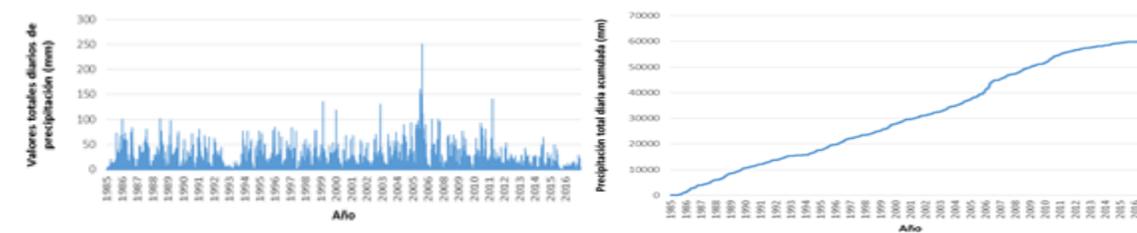


Figura 7. Gráficos de masa simple y serie de precipitación para la estación TIBU [16035010]

Fuente. Pasante

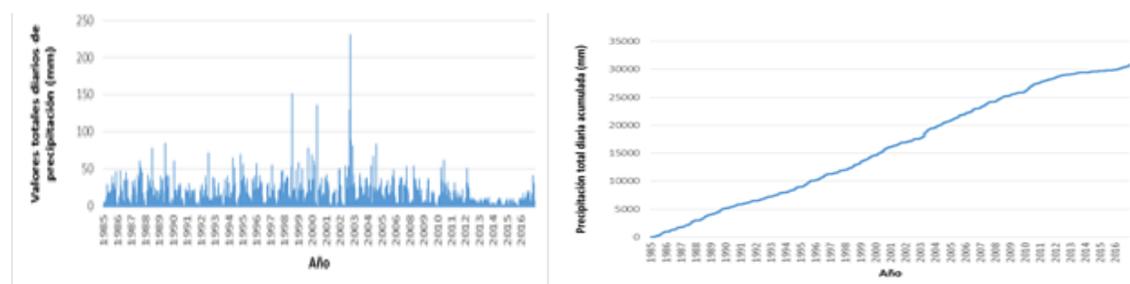


Figura 8. Gráficos de masa simple y serie de precipitación para la estación ORU [16070040]

Fuente. Pasante

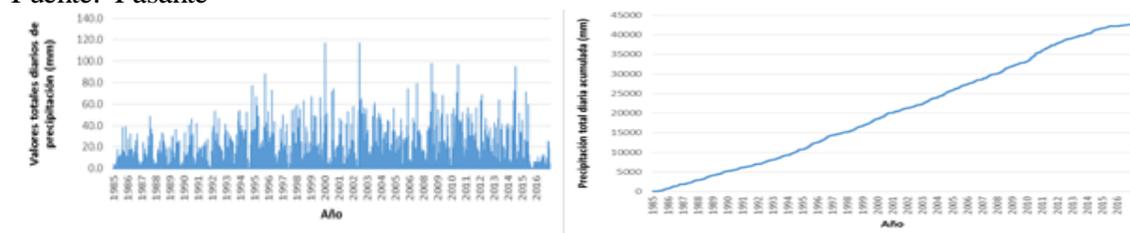


Figura 9 Gráficos de masa simple y serie de precipitación para la estación CNO LA RAYA [16060010]

Fuente. Pasante

3.5.3. Gráfico de masa residual. Un gráfico de masa residual refleja las desviaciones acumuladas de la serie promedia en función del tiempo. Para su construcción, primero se calculó la media de la serie de cada estación, valor que se muestra en la estadística descriptiva. En segundo lugar, se calculó la serie de desviaciones acumuladas, la cual se define como se observa en la siguiente ecuación:

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X_t$$

$$D_t = \sum_{i=1}^t (X_i - \mu_x)$$

$$t = 1, 2, \dots, N$$

Las gráficas de masa residual resultantes en el presente análisis muestran cambios ascendentes y descendentes a lo largo del tiempo de la serie, siguiendo una pendiente positiva o negativa, respectivamente, lo cual indica series de precipitación de las estaciones con cambios o tendencias en la media. En este sentido, los valores por encima de la media, se reflejan con una pendiente positiva, y los valores por debajo de la media se muestran con pendientes negativas.

Las fluctuaciones de los residuales que se presentan horizontalmente si cambios bruscos indican cambios sobre un valor constante.

Las gráficas de masa residual resultantes en el presente análisis muestran cambios ascendentes y descendentes a lo largo del tiempo de la serie, siguiendo una pendiente positiva o negativa, respectivamente, lo cual indica series de precipitación de las estaciones con cambios o tendencias en la media. En este sentido, los valores por encima de la media, se reflejan con una pendiente positiva, y los valores por debajo de la media se muestran con pendientes negativas.

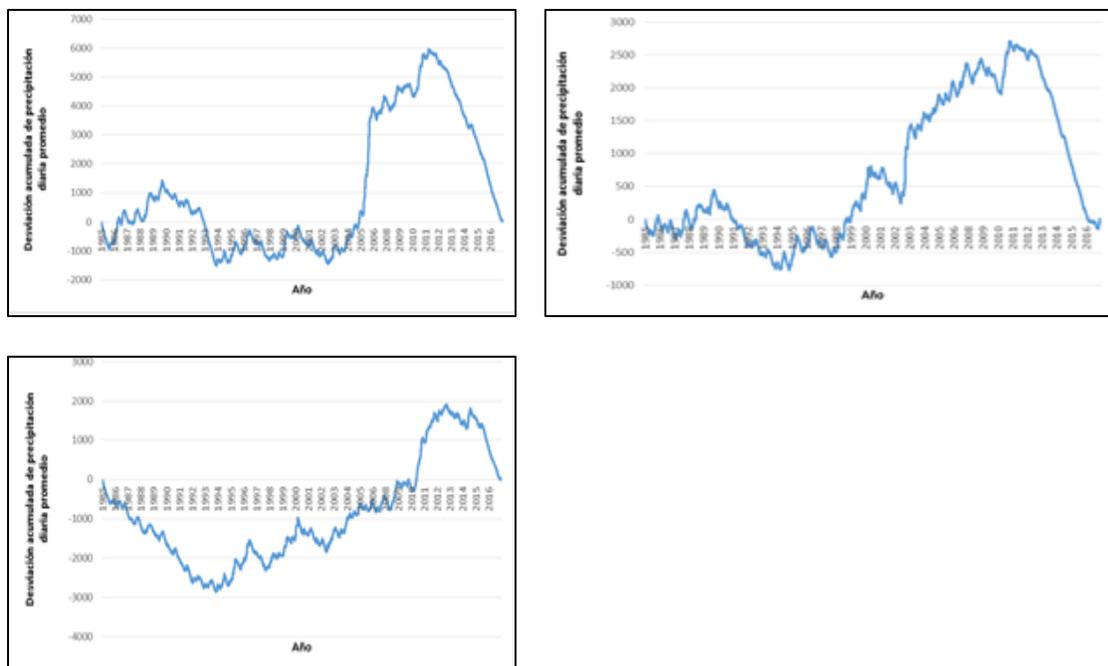


Figura 10. Gráficos de masa residual para las estaciones Analizadas
Fuente. Pasante

3.5.4. Diagrama de Puntos. El diagrama de puntos, a diferencia de los gráficos anteriores, no representa los valores de la serie de precipitación en función del tiempo, sino que estos se grafican a lo largo del eje horizontal. El diagrama de puntos para las tres estaciones, muestra una clara concentración sobre el rango 0, y en menor concentración, sobre valores por debajo de 17 mm. Con ello se indica una vez más, que la serie de precipitación de las estaciones presenta cambios sobre la media.

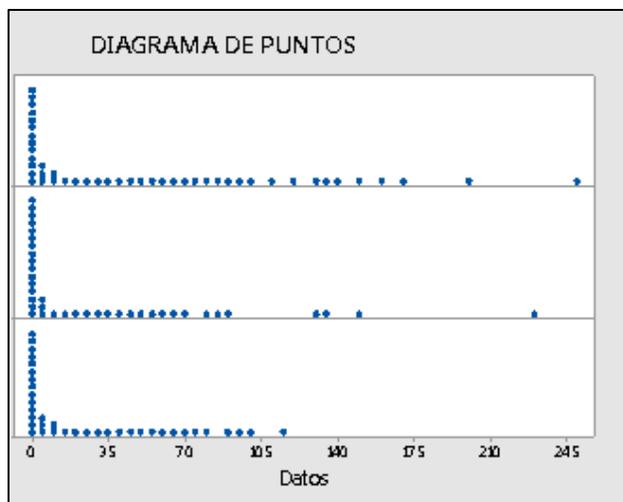


Figura 11. Diagrama de puntos

Fuente. Pasante

3.5.6. Histograma y gráfico de tallo y hojas. Un histograma agrupa los datos de la serie con base en su magnitud, para lo cual debe definirse los intervalos de clase de acuerdo al número de observaciones o valores de la serie. El número de observaciones de cada intervalo corresponde a la frecuencia absoluta, que luego se dividen entre el total de observaciones, para de esta forma obtener la frecuencia relativa. Finalmente, el gráfico se construye con los intervalos de clase sobre el eje horizontal y la frecuencia, ya sea absoluta o relativa, sobre el eje vertical. Los diagrama de tallos y hojas representan la misma información de los histogramas, pero en este caso las frecuencias se ubican en el eje horizontal y los grupos de datos sobre el eje vertical. Los histogramas de las estaciones no muestran una forma simétrica, pero si se observa un pico de alta frecuencia sobre el intervalo de clase 0 mm, el mismo comportamiento que se observa en el diagrama de puntos

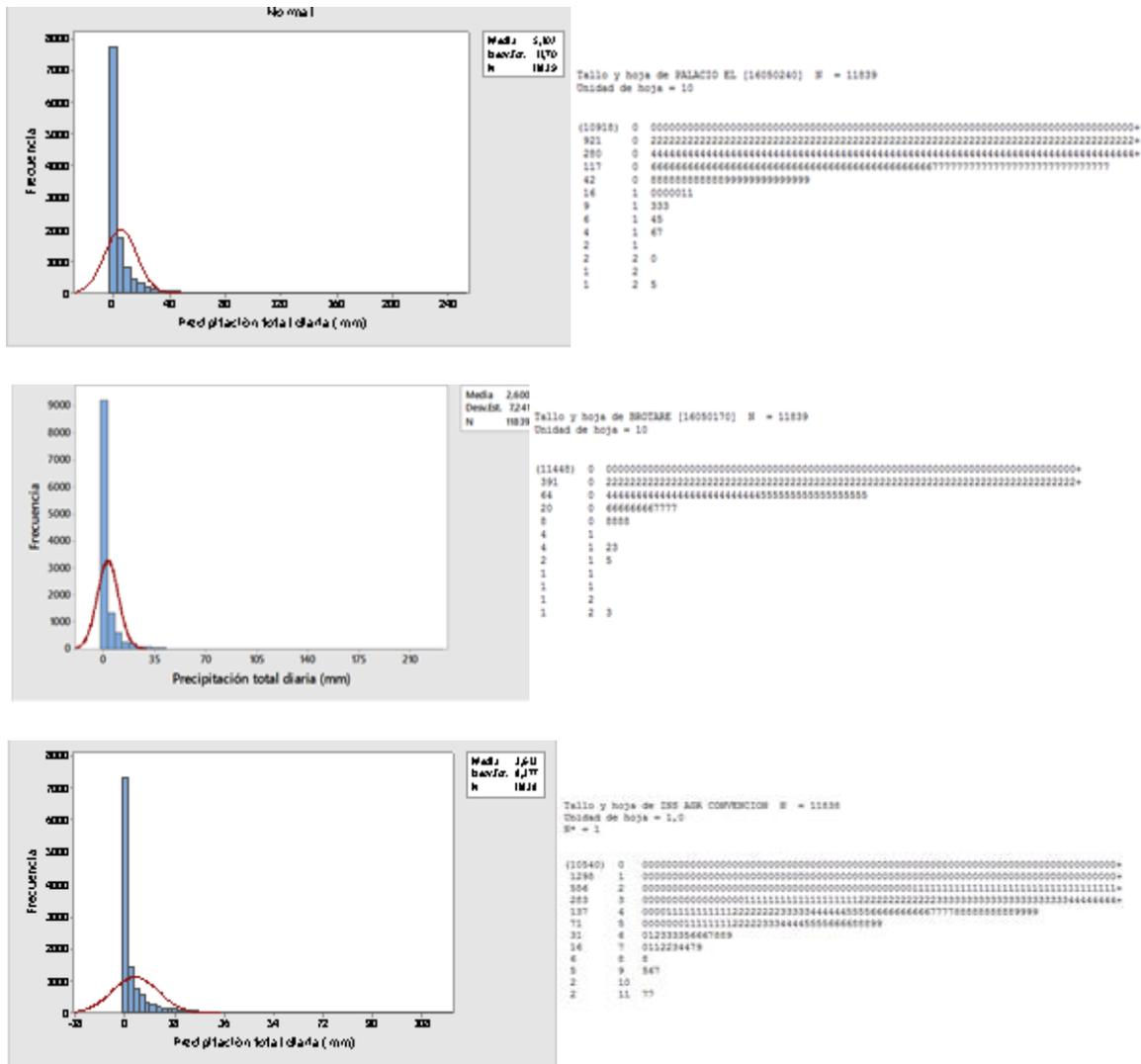


Figura 12. Histogramas y diagrama de tallo y hojas para la serie de precipitación de las estaciones.

Fuente. Pasante

3.5.7. Gráfico S – S

Un gráfico S – S es la representación de una serie en función de otra. En este sentido, para el presente estudio se graficaron gráficos S – S de la serie de precipitación diaria de una estación respecto a otra, como se observa en las Figuras X, X y X. Si la mayoría de los puntos se ubican por encima de la recta, indica que la serie ubicada sobre el eje Y presenta valores promedios más

altos respecto a la otra. Si por el contrario la mayoría de los puntos se ubican debajo de la recta, la serie con mayor promedio es la indicada en el eje X.

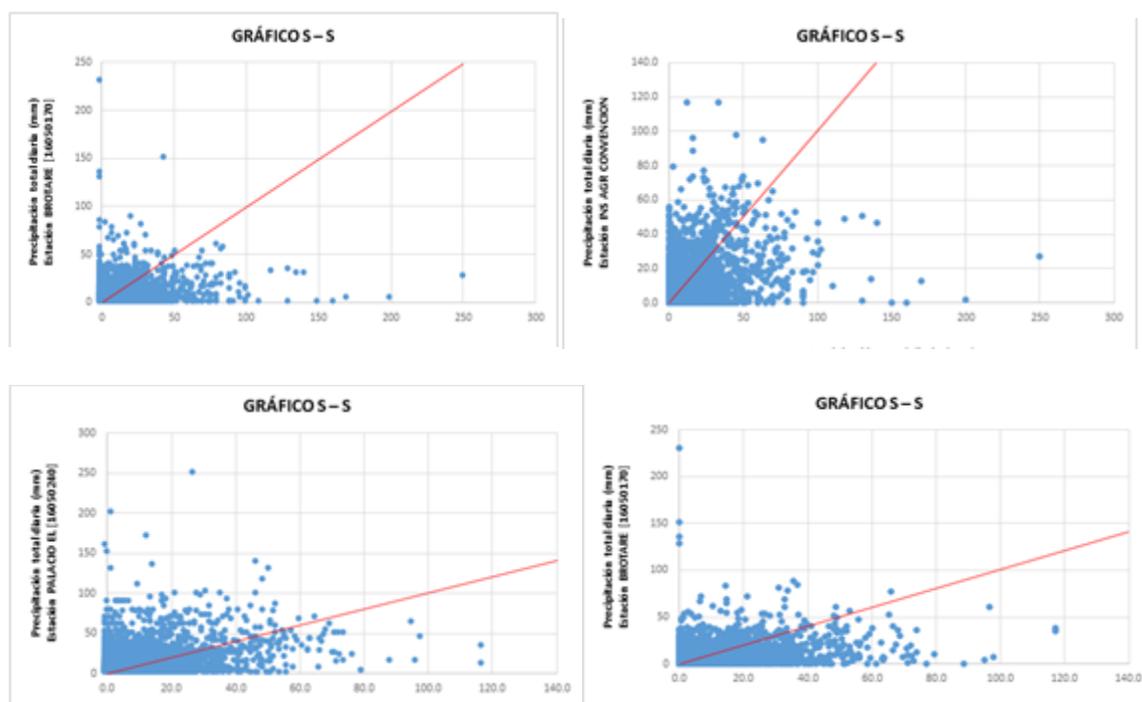


Figura 13 Gráficos S – S

Fuente. Pasante

3.5.8. Gráficos de Caja. Un gráfico de caja permite representar y visualizar fácilmente los estadísticos básicos anuales de una serie. Los gráficos de cajas construidos con las series de precipitación de las estaciones, representan los siguientes estadísticos: valor mínimo, percentil 25%, percentil 50% o valor medio, percentil 75% y el valor máximo. Estos se presentan en las siguientes figuras

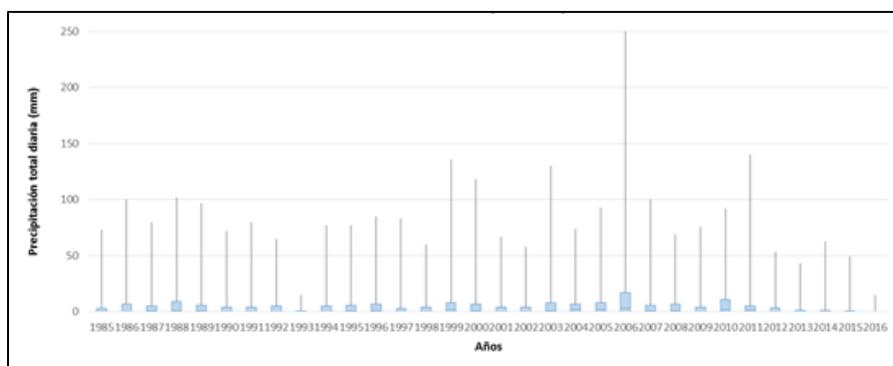


Figura 14.Gráfico de caja para la estación

Fuente. Pasante

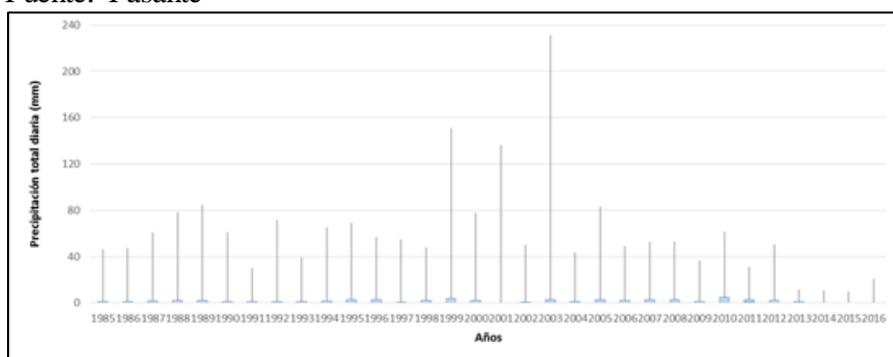


Figura 15.Gráfico de caja para la estación

Fuente. Pasante

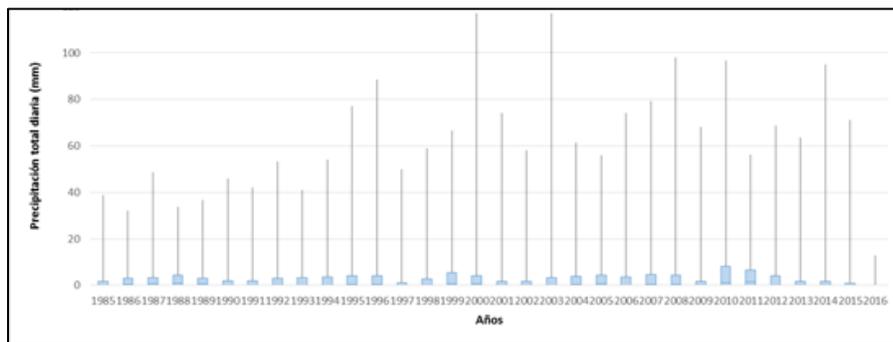


Figura 16.Gráfico de caja

Fuente. Pasante

3.5.9. Graficas Suavizadas. En ocasiones, las series de precipitación exponen grandes alteraciones que al momento de presentarse alguna tendencia o variación se hace más difícil su caracterización. Por tal razón se ejecutan procedimientos suavizadores a dichas series iniciales para posteriormente esquematizarlas y en ciertos casos favorece en la detección de cambios. Para el presente estudio, se llevó a cabo una suavización exponencial de la serie, mediante las herramientas de análisis de Excel

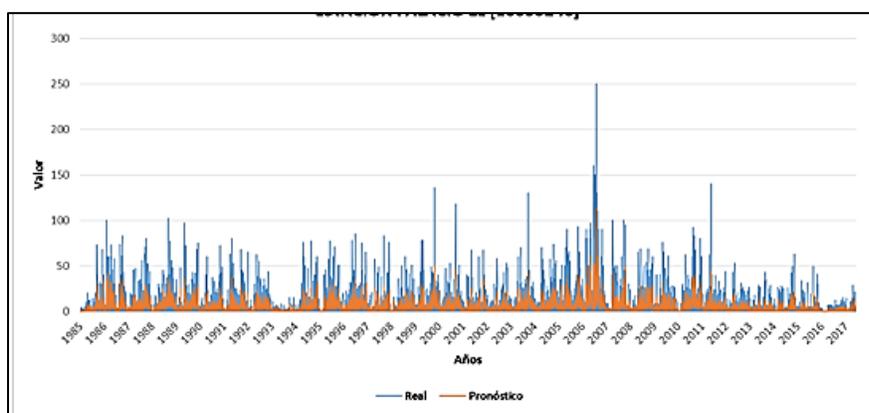


Figura 17.Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación Pasante

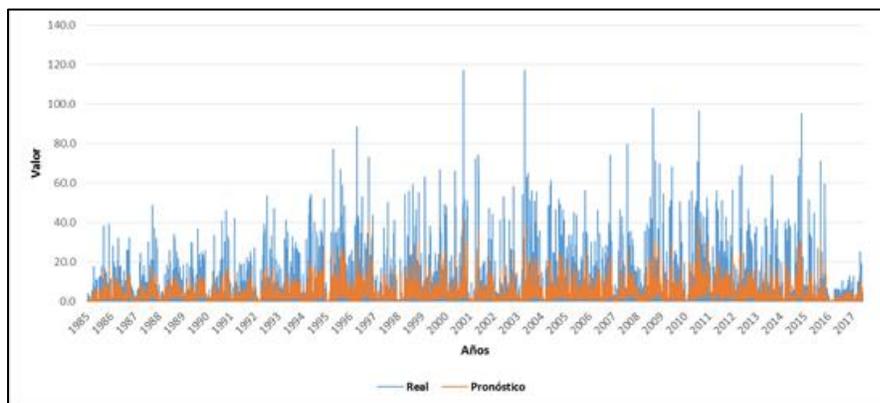


Figura 18.Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación Pasante

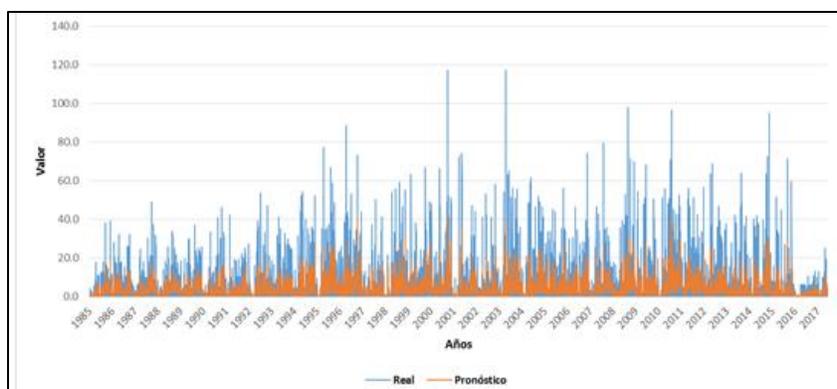


Figura 19. Gráfico suavizado para la serie de precipitación de la estación

Fuente. Pasante

3.6. Calculo de caudal método racional

El desarrollo del método racional permite llevar a cabo el cálculo del caudal máximo el cual se generará de una precipitación con relación a un coeficiente de escorrentía y a la intensidad media del acontecimiento de lluvias con un periodo igual al tiempo de concentración del área de drenaje. Además, permite realizar la estimación para diferentes periodos de retorno haciendo uso de las características morfométricas de la cuenca y de la variable hidrometeorológica precipitación máxima registrada sobre la cuenca. Su ecuación figura a continuación:

$$Q = \frac{F * C * I * A}{3.6}$$

Donde Q es el caudal máximo, C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad de lluvia, A es el área de la cuenca y F es un factor de reducción que “se aplica en la medida en que las área de drenaje se hacen más grandes, la intensidad de la lluvia sobre éstas se reduce en razón

de la variabilidad espacial del fenómeno de precipitación”. La ecuación del factor de reducción utilizada fue:

$$F = 1 - \frac{\log A}{15}$$

$$F = 1 - \frac{\log 176,076}{15}$$

$$F = 0,85$$

El tiempo de concentración se refiere al tiempo que le toma al agua desde el inicio del evento de lluvias en llegar, mediante circulación por escorrentía directa, a la desembocadura de la cuenca comenzando desde los límites más extremos o más alejados de la misma. El tiempo de duración de la precipitación equivale al tiempo de concentración de la cuenca, ya que en esta duración es cuando se presentan los caudales máximos y toda la cuenca está contribuyendo al desarrollo de la escorrentía. Se decidió calcular el tiempo de concentración horaria mediante la ecuación de Kirpich, cuyas variables fueron determinadas mediante las características morfométricas de la cuenca de estudio, a continuación se muestra dicha ecuación.

$$t_c = 0,06628 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

Donde L es la longitud del cauce principal y S es la pendiente media del cauce.

Procesando la información disponible de la cuenca, se obtiene para el tiempo de concentración el siguiente valor, para la cuenca en estudio:

$$t_c = 0,06628 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

$$t_c = 0,06628 \times \left(\frac{27,393}{\sqrt{0,06925}} \right)^{0,77}$$

$$t_c = 2,37 \text{ horas}$$

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia constituyen una herramienta para la determinación del caudal de diseño. Con ellas se sintetizan las particularidades de los eventos extremos máximos de precipitación y así precisar la intensidad media de precipitación con base a diversas duraciones del evento y en diferentes periodos de retorno definidos.

El cálculo de la curva IDF se realizó con base a los datos registrados de precipitación total diaria de las estaciones del área de influencia solicitados al IDEAM. De dichos datos se calcularon los máximos mensuales en 24 horas, y de estos, los máximos anuales. A partir de estos últimos se realizó el análisis de frecuencias de acontecimientos extremos, donde fue necesario el uso de una función de distribución de probabilidades, que en este caso fue la distribución de Gumbel. Dicha función “ha sido empleada, con buenos resultados, en el estudio de eventos meteorológicos de valores máximos, obteniéndose ajustes muy precisos para valores máximos diarios y anuales (Mintegui et al., 1993). A su vez, Stol (1971), citado por Dickinson (1977), señala que la función de Gumbel resulta ser la más adecuada para representar lluvias anuales extremas. La aplicación de la función de distribución de Gumbel, en estudios que contemplen eventos de valores extremos, no sólo es avalada por los autores mencionados anteriormente. La literatura especializada en el tema cita siempre la función de distribución de Gumbel debido a la calidad de ajuste que presenta en eventos máximos (Témez, 1978; Pizarro, 1986; Linsley et al., 1988; Ponce, 1989; Chow et al., 1994, y Monsalve, 1999)”citado por PIZARRO TAPIA, Roberto, et al. Su expresión matemática corresponde a:

$$F(X) = P[\varepsilon \leq X] = e^{-e^{-\sigma(X-\mu)}}$$

Donde X es el valor a asumir por la variable aleatoria y σ, μ son parámetros a estimar.

Los valores estadísticos obtenidos de la distribución de Gumbel permitieron generar precipitaciones máximas con relación al periodo de retorno y tiempo de duración, el cual se multiplicó por un coeficiente que permite el ajuste a la respectiva unidad horaria. Con estos datos se calculó la intensidad horaria que resulta de la división de las series de precipitación entre su duración. Para integrar o hacer una relación simultánea de las tres variables, es decir, de intensidad, duración y frecuencia, en un sistema de curvas, representando no sólo una función gráfica sino también analítica, se utilizó la ecuación propuesta por Aparicio (1997). En ella se establece la posibilidad de disponer de una expresión matemática que construya las curvas IDF mediante un modelo de regresión, que permita extrapolar la ecuación generada para cada estación hacia áreas que carezcan de registros pluviográficos y que se hallen cerca. Su ecuación se representa a continuación:

$$I = \frac{K * T^m}{(D)^n}$$

Donde K, m y n son parámetros de ajuste que fueron calculados mediante regresión potencial, mediante el método de los mínimos cuadrados, T es el periodo de retorno en años y D es la duración en minutos u horas, finalmente I es la intensidad de precipitación en mm/hr.

Tabla 6 . Valores de las Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación 1

Tabla de Intensidades - Duración - Frecuencias

Frecuencia

Duración en minutos

años	60	120	180
2	23.61	15.37	11.96
5	30.06	19.57	15.23
10	36.09	23.50	18.28
25	45.95	29.92	23.28

Fuente Pasante

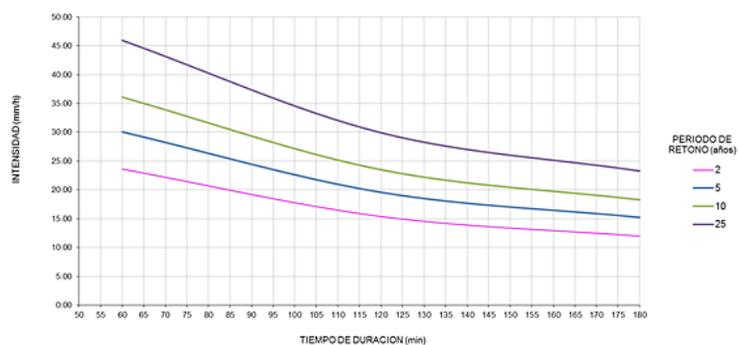


Figura 20. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación Fuente. Pasante

Tabla 7. Valores de las Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación 2

Tabla de intensidades - Tiempo de duración

Frecuencia	Duración en minutos			
	años	60	120	180
2		22.94	14.94	11.62
5		27.16	17.69	13.76
10		30.86	20.10	15.64
25		36.54	23.80	18.52

Fuente. Pasante

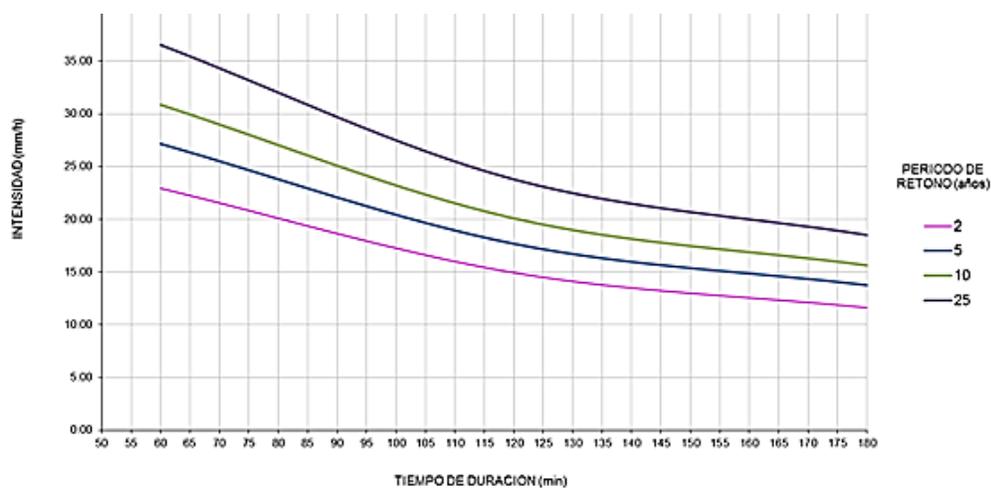


Figura 21.Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación2

Fuente. Pasante

Figura 22.Valores de las Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación 3

Tabla de intensidades - Tiempo de duración

Frecuencia	Duración en minutos			
	años	60	120	180
2		31.05	20.22	15.73
5		37.88	24.67	19.20
10		44.04	28.68	22.31
25		53.73	34.99	27.22

Fuente Pasante

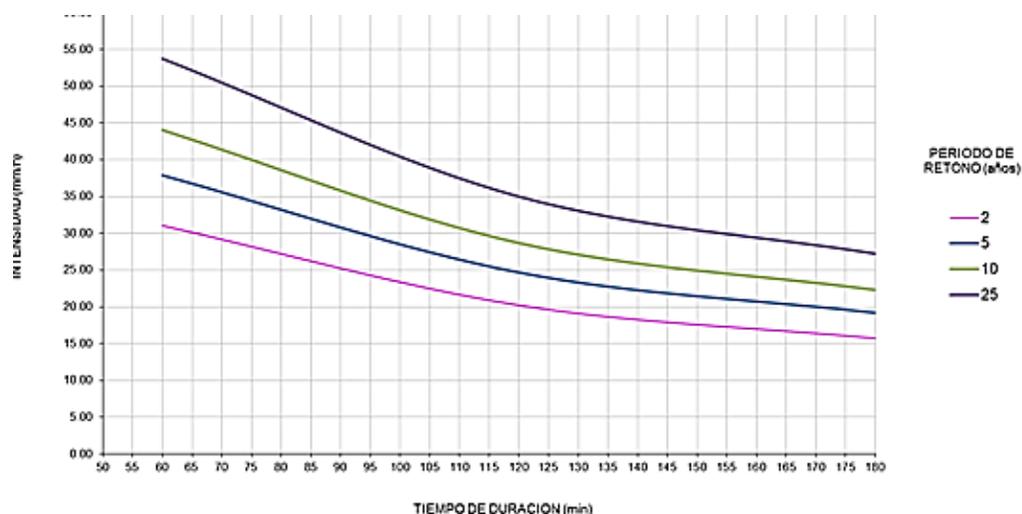


Figura 23. Curvas Intensidad -Duración -Frecuencia para la estación3
Fuente. Pasante

El coeficiente de escorrentía corresponde a la relación entre la precipitación total de la cuenca o área y el volumen de escorrentía, es decir, la fracción de lluvia que se transforma en caudal. El coeficiente es un valor constante que cambia conforme a la magnitud de la precipitación y las características fisiográficas de cada cuenca, como tipo de suelo, pendiente del terreno, cobertura vegetal, permeabilidad de la zona entre otros factores. Para su estimación existen, en la literatura hidrológica, tablas de valores que pueden ser usados como guía para su selección. A continuación se representa la tabla utilizada como referencia para este estudio:

Tabla 8. Coeficiente de escorrentía.

Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada >50%	Alta 50%- 20%	Media 20%- 8%	Suave 8%- 1%	Despreciable <1%

Sin	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
vegetación	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos y	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierva y	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,35	0,20	0,15	0,10
Bosques y	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente. Ramírez, Maritza. 1999. Hidrología Aplicada. Universidad de Los Andes

Para poder obtener el coeficiente de escorrentía promedio de la cuenca y teniendo como base la anterior tabla, se identificó el tipo de suelos de la cuenca, del estudio nacional de suelos para Norte de Santander, y las coberturas de las Tierra 2010 – 2012 (IDEAM, 2014). Se calculó el área de cada tipo de cobertura vegetal y se multiplicó por el respectivo factor de escorrentía de la tabla, para posteriormente calcular la sumatoria de éstas y dividirlo entre el área total de la cuenca.

Obtenidos todos los parámetros de la ecuación del método racional, se prosiguió al cálculo del mismo, obteniéndose los valores del caudal máximo, esquematizados en las siguientes tablas

Tabla 9. Estimación del caudal máximo para la estación 1 mediante el método racional

Caudal máximo (m ³ /seg)			
Frecuencia años	Duración en minutos		
	60	120	180
2	520.84	339.17	263.90
5	663.14	431.83	336.00
10	796.08	518.40	403.36
25	1013.57	660.03	513.56

Fuente. Pasante

Tabla 10. Estimación del caudal máximo para la estación 2 mediante el método racional

Caudal máximo (m ³ /seg)			
Frecuencia años	Duración en minutos		
	60	120	180
2	506.09	329.56	256.43
5	599.20	390.20	303.60
10	680.86	443.37	344.98
25	806.13	524.94	408.45

Fuente. Pasante

Tabla 11. Estimación del caudal máximo para la estación 3. Mediante el método racional

Caudal máximo (m ³ /seg)			
Frecuencia	Duración en minutos		
años	60	120	180
2	684.98	446.06	347.07
5	835.75	544.23	423.46
10	971.47	632.61	492.23
25	1185.29	771.85	600.56

Fuente. Pasante

Capítulo 4. Modelo hidráulico unidimensional HecRas para el río Sardinata calculando las zonas de inundación para diversos periodos de retorno

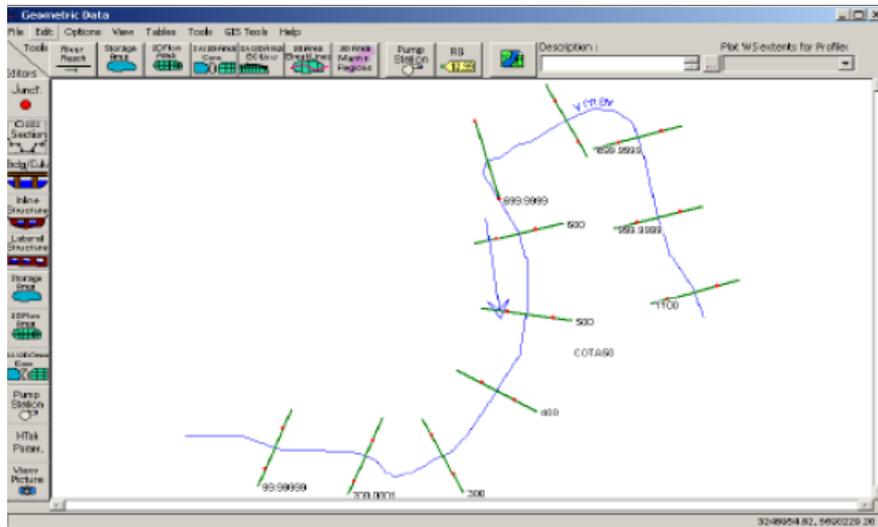
En búsqueda de un mejor y más detallado análisis del comportamiento hidráulico del cuerpo de agua denominado río Sardinata se desarrolló a la modelación pertinente al tramo de estudio que corresponde a en sus primeros 1132 mtrs con una pendiente del río de 0.013, los cuales comprenden desde la cota 50 hasta la localización del puente vehicular cuyas coordenadas Este Norte Son: X989734.910014; Y1703467.09049; al final de la sección se introdujo el puente dado que esta estructura puede ser determinante en el comportamiento del flujo natural del agua

En la siguiente figura que corresponde a una imagen de google earth pro 2018 sobre la cual se digitalizo el tramo del río Sardinata a partir de la información geoespacial capturada en campo mediante el uso de una antena GPS doble frecuencia.



Figura 24. Imagen de satélite digitalizada tramo del río
Fuente. Google Earth Pro 2018

En la figura 24 se puede apreciar el tramo del río que es objeto de este estudio y su recorrido a través del corregimiento campo dos el tramo de estudio corresponde a 6.05km de longitud, posteriormente se crearon las secciones transversales, los bancos hidráulicos y se exportaron las geometrías a HecRas 5.03, para poder realizar la modelación hidráulica para cada uno de los periodos de retorno



Después de importar el modelo se procedió a definir los parámetros hidráulicos de esta primera parte de la quebrada iniciando por el coeficiente de manning para el centro y cada uno de los costados del tramo, para asignar estos parámetros se tuvo en cuenta la calidad de cada lado del tramo

Como resultado de la modelación se obtiene el perfil de la faja marginal de este tramo de la quebrada con los seis periodos de retorno analizados.

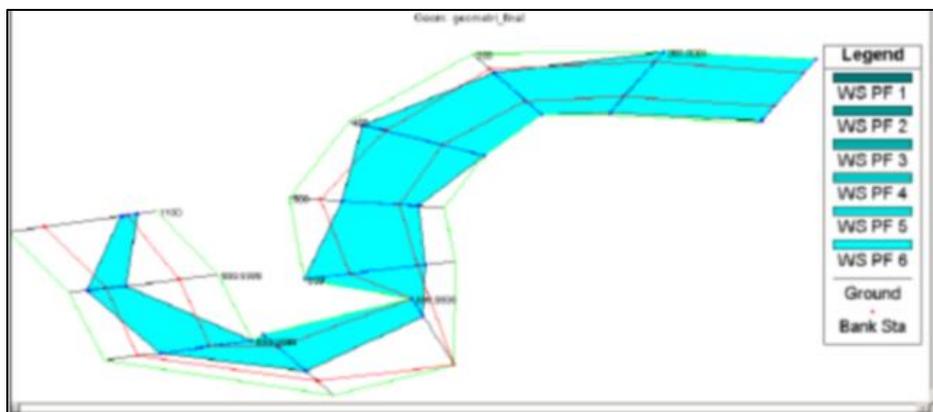


Figura 25.IP de la faja marginal en los primero 1100mtrs

Fuente. Pasante

A continuación se presenta el mapa inundación para el primer tramo del río desde la cota 50, el mapa se construyó con los datos resultantes y analizados de la modelación con Hec GeoRAS, ArcGIS y HecRas

De acuerdo con los resultados del modelo se generaron las denominadas manchas de inundación para la situación actual y cada periodo de retorno obteniendo la elevación del agua y el ancho de la superficie libre de la lámina de agua.

Con esta información fueron trazadas las manchas de inundación para los diferentes periodos de retorno en SIG con la ayuda del HEC-GeoRAS, para poder entender mejor el proceso de las inundaciones se realizó un soporte de modelación 3D, el cual se entrega a manera de anexo a este documento, en esta modelación se procesaron los resultados obtenidos en HECRAS, HECGEORAS y ARCGIS para los periodos de retorno analizados

La zona fluvial del río la cual incluye el cauce de del río y sus riveras la cual se determinó a partir de la avenida periodo de retorno de 5 años dándole de esta manera continuidad y sentido ambiental e hidráulico y en el cual son limitados sus usos para poder preservar la

quebrada como ecosistema, para el caso de las zonas llanas o planas en las que la vegetación riberada asociada alcance anchuras superiores a 100mtrs respecto del eje de la quebrada a ambos lados del cauce, si esta zona ya está ocupada debido a actividades antrópicas la zona fluvial quedara fijada en 20 mtrs respecto del eje del cauce.

En esta zona no se admite ningún uso urbanístico, excepto los trabajos de preservación y mejora de la funcionalidad hidráulica y ambiental.

De forma excepcional se admite la implantación de infraestructuras canalizadas por la zona fluvial, siempre y cuando se respete la funcionalidad hidráulica, morfodinámica y ambiental. No se admiten en esta zona la implantación de las instalaciones para el transporte de materias peligrosas y/o sustancias prioritarias que representen un riesgo de contaminación.

Para el periodo de retorno de 2 años, la lámina de agua no supera esta zona fluvial en el primer tramo del rio, en esta primer tramo de análisis se identificó según los resultados de modelación que a 125 mtrs aguas arriba del puente, se presenta un efecto presa debido a lo estrecho de la solera y la boca de la sección, sumado esto a un proceso de socavación activo de 2,0mtrs, lo cual genera a un periodo de retorno de 2 años, un total de 14.52mtrs con una profundidad de inundación de 1mtrs desde el espejo de agua, el proceso de inundación se genera al costado derecho de la quebrada.

Con un periodo de retorno de 2 años el caudal calculado mediante método racional es de 90.55m³/seg y el caudal calculado para el periodo de retorno de 5 años, es de 103.822965m³/seg

El caudal para el periodo de retorno a 50 años es de 148.22455M³/seg; la modelación hidraulica para este tramo del rio persiste la socavación activa de 2mtrs y un alto de la lámina de agua de 2mtrs antes del puente

las machas de inundación para el periodo de retorno de 100 años en la cual existe tres puntos geográficos en las cuales están manchas de inundación supera la zona fluvial delimitada en color rojo a los 30metros paralelos al eje principal del rio Sardinata, el caudal para este periodo de retorno es de 164.998483M³/seg

Las velocidades del agua para cada periodo de retorno analizado en el primer tramo del rio desde la cota 50, en el periodo de retorno 2 años en las curvas del cauce se presentan un fuerte incremento como lo indica la modelación en HECRAS ampliamente descrito en este documento

4.1. Análisis Hidraulico Segundo Tramo del rio

El tramo analizado se delimito desde la coordenada X: 989734.910014; 1703467.09049, en sentido aguas abajo, el punto de mayor importancia por su impacto al ser humano, actividades, Una vez terminado este proceso se prosiguió con la generación de las secciones

transversales del tramo modelado con intervalos de 200mtr y longitud de 100mtr; obteniendo de esta forma el siguiente resultado



Figura 26. Segundo tramo del rio

Fuente. Pasante 2018

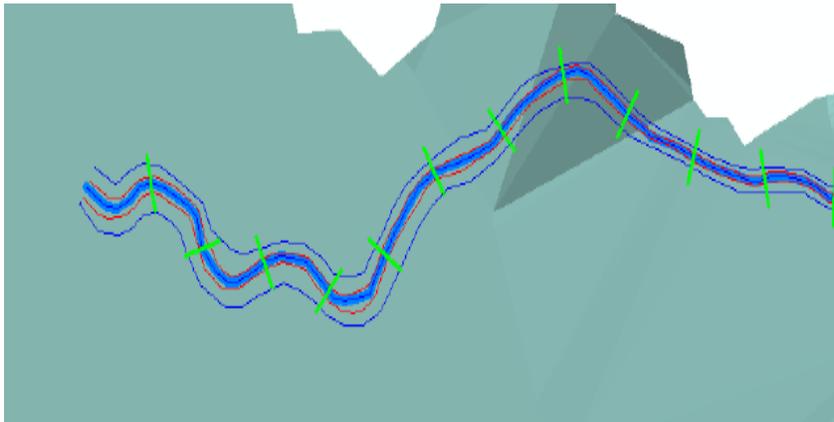


Figura 27. Secciones transversales tramos2, sobre TIN

Fuente. Pasante



Figura 28. Secciones transversales sobre la imagen multispectral

Fuente. Pasante 2018

este modelo se exporto al software HECRAS 5.03 para proseguir con el proceso de modelación hidraulica como se puede apreciar en la siguiente IP de la interface de trabajo del software

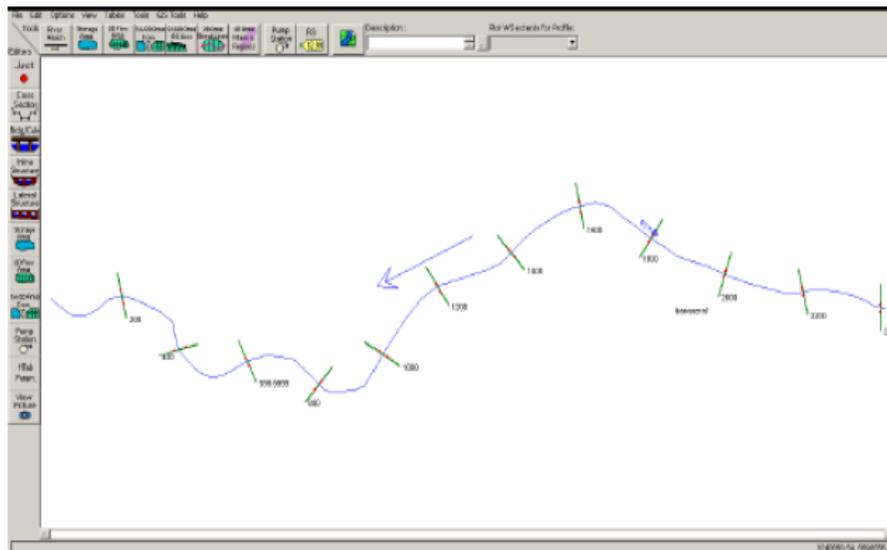


Figura 29. Ip del resultado de la exportación de ARCGIS – HECRAS

Fuente. Pasante 2018

Como ya se referencio con suficiencia fueron generadas un total de 13 secciones transversales sobre el tramo del rio Sardinata

Zona Plana O Valle

En general la zona se caracteriza por tener una topografía plana y. Por esta razón no existen valles significativos pero tampoco existen laderas pronunciadas que amenacen riesgos de deslaves o de desprendimientos de material.

Cauce

El cauce se muestra definido en todo su recorrido, muestra estabilidad vertical y horizontal. No es profundo, pero aparenta tener un área hidráulica suficiente para conducir los caudales normales y de período de retorno de 2 y 5 años los cuales son los caudales más bajos de los 6 que fueron analizados.

El lecho se caracteriza por conformarse de material sedimentario y fino, compuesto por limos y arcillas. Aunque se observan arenas y piedras, las cuales presentan gran importancia en el comportamiento del flujo No se observan rápidos y al momento de la visita se observa sedimento en suspensión a pesar de y esto puede deberse a la temporada lluviosa. Al igual que se presenta aguas arriba durante todo el cauce de la quebrada se presentan grandes bancos de sedimentación

El tipo de drenaje es continuo y perenne. El tipo de flujo se considera uniforme y tranquilo para la temporada seca y durante la temporada lluviosa tiende a desarrollar velocidades importantes, sin embargo puede observarse que debido a las pendientes bajas, las velocidades no son fuertemente erosivas, no se observan migraciones tanto aguas arriba como aguas abajo. Sin embargo el cauce del río presenta tendencia a la formación de meandros en partes sinuosos.

Bancos Hidráulicos

Ya se mencionó que el cauce no es tan profundo, los bancos no están bien formados y se aprecia a simple vista inestabilidad principalmente en el banco izquierdo que tiene menor altura que el banco derecho. Se puede observar buena la estabilidad de los taludes en ambos márgenes. En el lado derecho se observan algunos árboles y vegetación, al inicio del tramo, (primeros 500mtrs), aguas abajo del puente existe un centro poblado de un área de 28834.2030m² (2.88342Ha); las viviendas de esta población pueden estar influenciadas por posibles crecidas debido a la dirección de flujo.

4.2. Determinación de la capacidad hidráulica

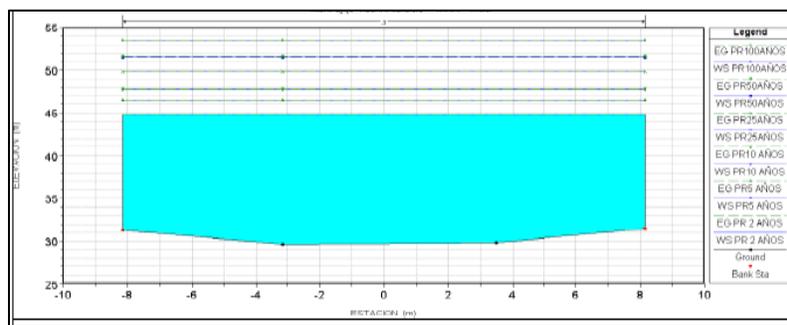
Según los habitantes de la zona en las épocas de invierno la problemática se debe a procesos de inundaciones no solo causan afectación a los cultivos, sino también a sus bienes inmuebles (Parcelas y casas), generando de esta manera pérdidas económicas graves por inundación; lo anterior debido al desbordamiento del drenaje natural del río Sardinata, que afecta las orillas de está causando movimientos de suelos por la inestabilidad de taludes y

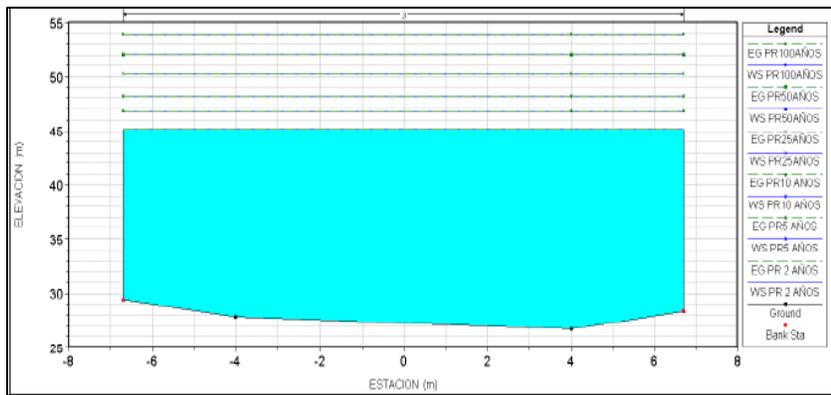
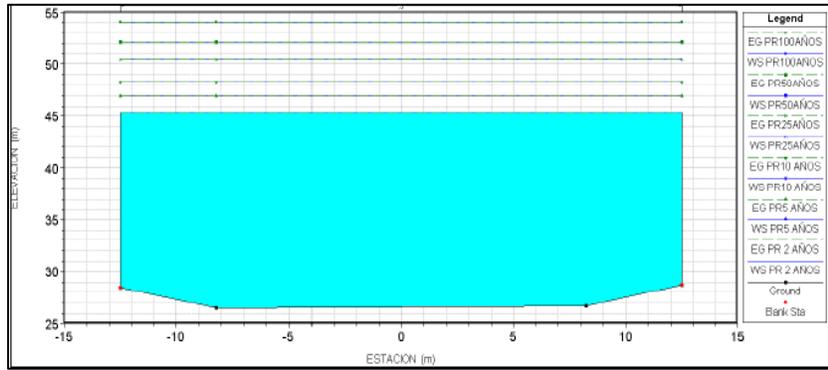
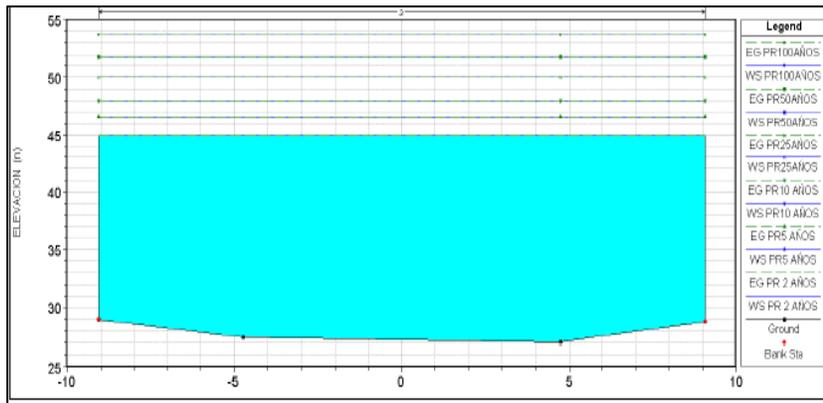
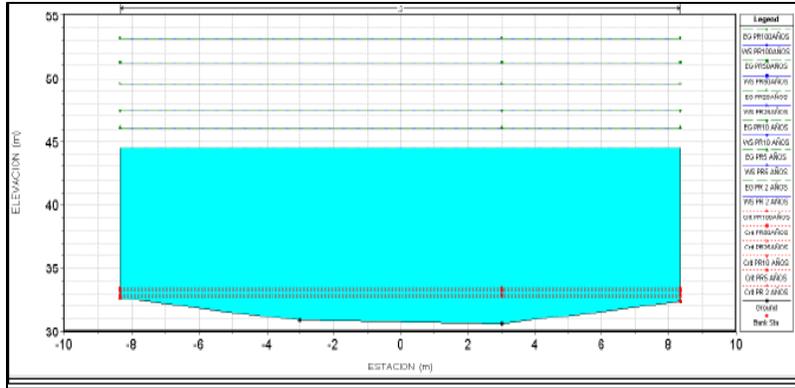
erosión hídrica, lo cual se ha podido evidenciar en algunos puntos geográficos de la cuenca hidrográfica.

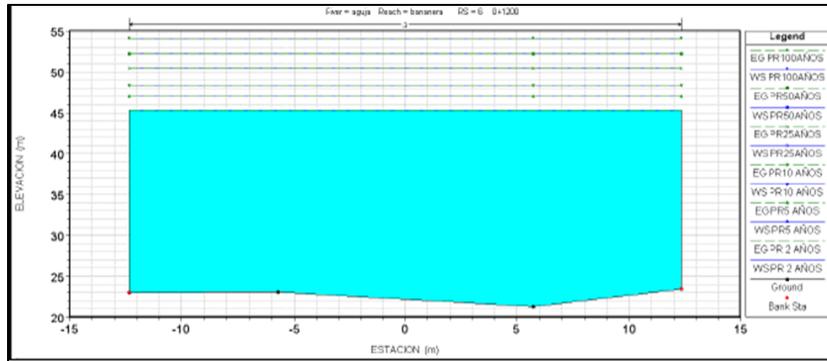
Al igual que en el tramo anterior aguas arriba del puente, considerada la topografía y batimetría del cauce así como los caudales de crecida determinados en esta investigación. Con los volúmenes de los caudales calculados en el apartado de hidrología, se procedió a la simulación de los niveles del río para este tramo como respuesta a estos caudales.

Para esta modelación se usó además de la configuración topográfica del cauce y los volúmenes de caudal, el valor de coeficiente de rugosidad expresado por el número de Manning; el número de Manning es un coeficiente que es difícil determinar dado que puede estar en función del criterio del modelador y de la temporada en la cual se determine las características del canal. Con los criterios de la visita de campo.

Figura 30. Modelación de secciones transversales

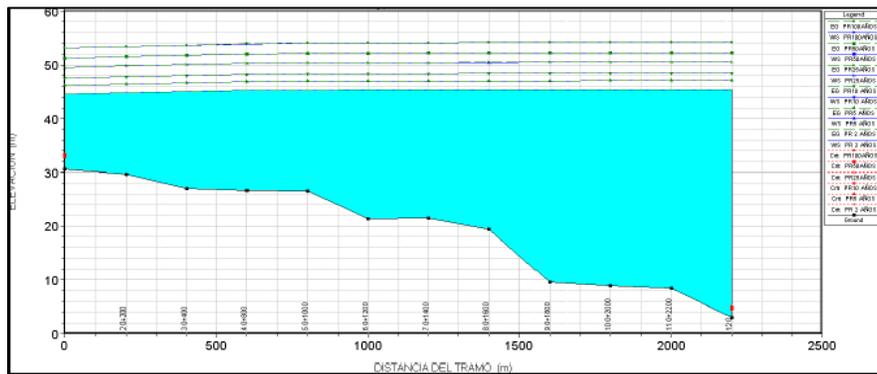






Fuente. Pasante 2018

Figura 31 Perfil longitudinal del tramo dos de estudio



Fuente. Pasante 2018

El perfil longitudinal de flujo en esta sección deja ver que para los de retorno analizados la altura de la lámina de agua se tornaría una seria amenaza para la población asentada sobre las riveras de este tramo de la quebrada dado que la altura de la lámina de agua supera exponencialmente la capacidad hidráulica de este tramo

En la abscisa 0+2400 se puede presentar una grave problemática según la modelación realizada este es un sitio sumamente crítico donde la lámina de agua puede llegar a alcanzar una altura de hasta 42 mtrs los cuales se disipan por la llanura de inundación

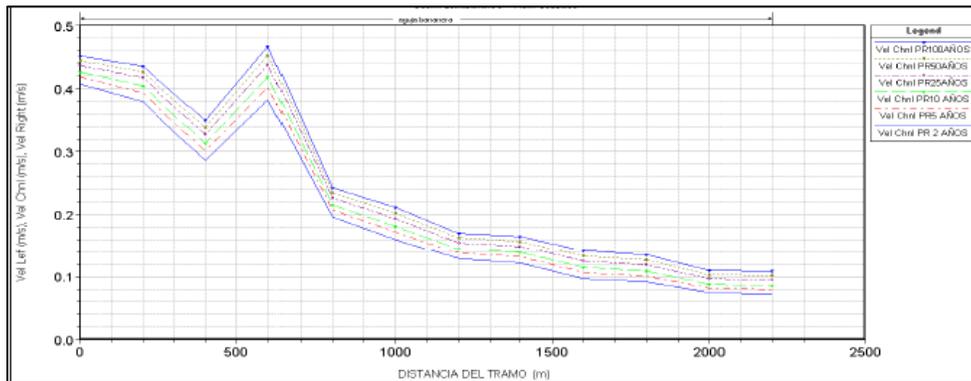
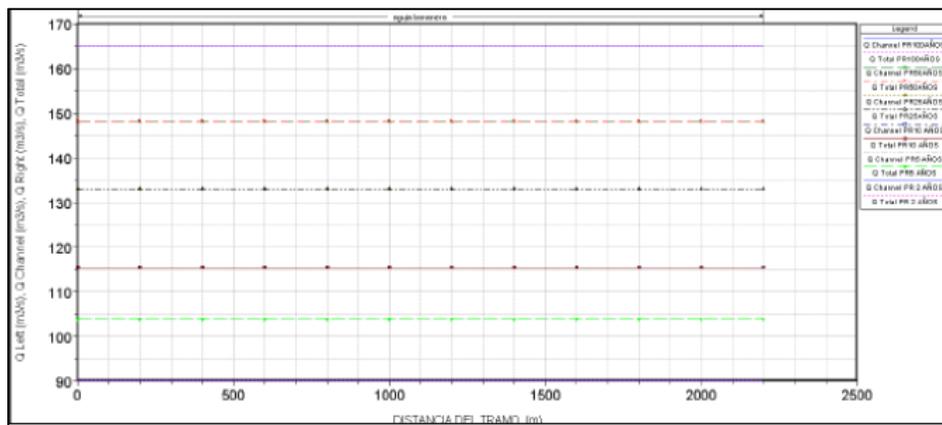


Figura 32. Grafica de velocidades en el tramo en estudio, velocidades calculadas para los seis periodos de retorno analizados

Fuente. Pasante 2018

En la gráfica 33 se pueden visualizar los caudales totales calculados para el tramo en estudio



Fuente. Pasante 2018

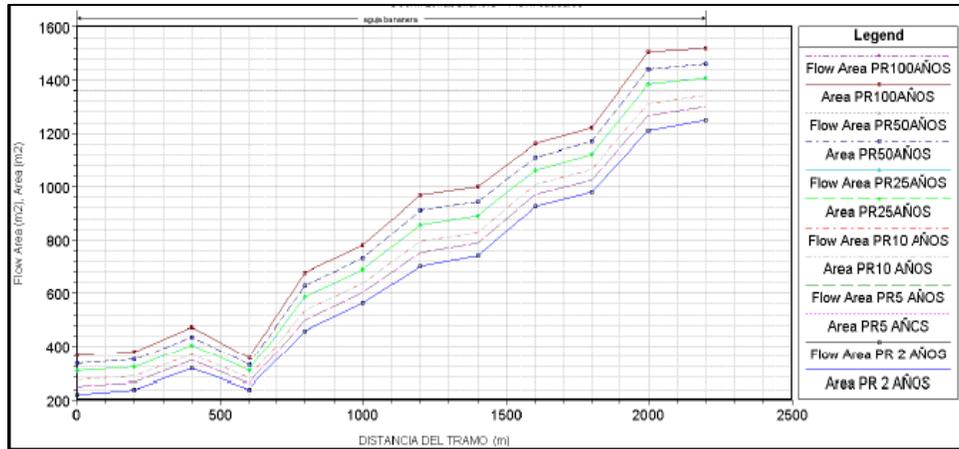


Figura 33. Gráfica del Área efectiva de la sección transversal del flujo perpendicular

Fuente. Pasante 2018

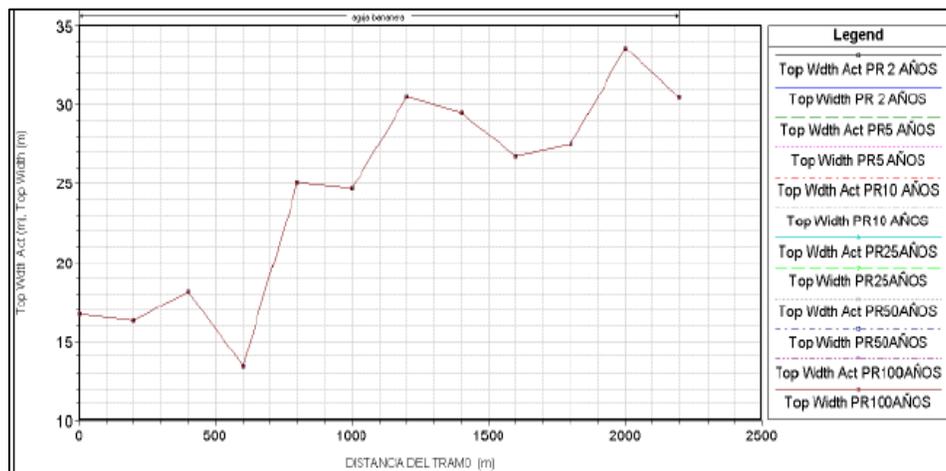


Figura 34. Gráfica del ancho de la lámina de agua o de la sección del canal en la superficie libre de la misma

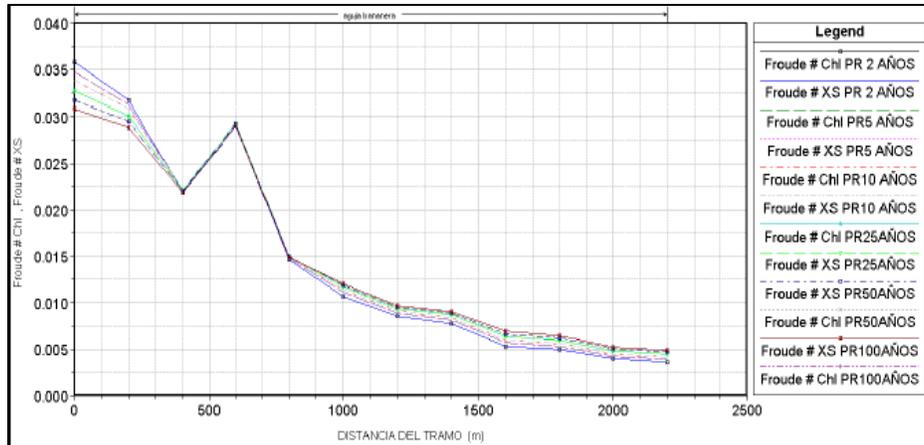


Figura 35. Gráfica del número de Froude y Froude # XS

Fuente. Pasante 2018

Los cálculos del número de Froude para la parte del canal principal de la sección, Froude es un número que caracteriza el tipo de régimen con el que circula el flujo. Relaciona las fuerzas cinéticas del flujo con las gravitacionales

De este modo se consigue definir el régimen al que circula el flujo, de manera que para:

$F > 1$, el flujo es supercrítico

$F = 1$, el flujo es crítico

$F < 1$, el flujo es subcrítico

Esta característica también es conocida como el cociente entre el área efectiva de una parte de la sección entre el ancho de la lámina de agua (top width) de la misma parte, calculado para cada uno de los periodos de retorno



Figura 36. Modelo 3D de una vista panorámica del tramo 2. Modelo realizado en la extensión ARCSCE

Fuente. Pasante 2018

La anterior imagen tridimensional se puede apreciar el cambio de paisaje con respecto al que se presenta en el primer tramo del río presta un paisaje plano de valle con pocas ondulaciones el cauce de esta quebrada se encuentra delimitados por cultivos los cuales aprovechan sus aguas para suministrar el riego, también se aprecian grandes e importantes bancos sedimentarios

A continuación se presenta la delimitación o zonificación de inundación para la elaboración de estas temáticas se contó con el apoyo del software ARCGIS después de exportar los datos de modelación desde HecRas.

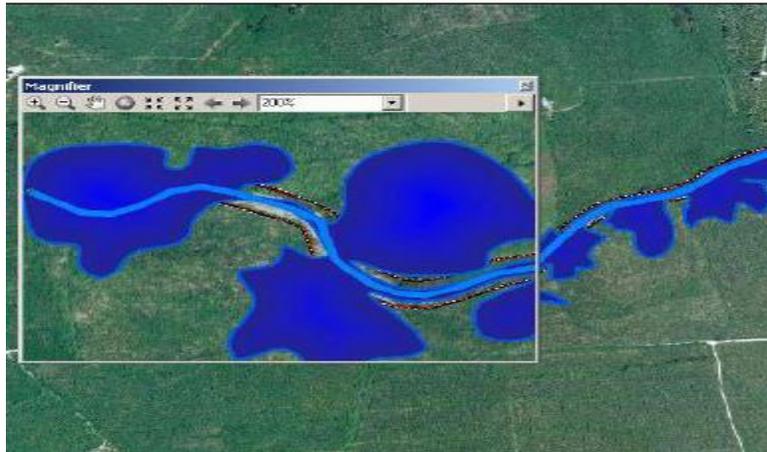


Figura 37. Simulación en ArcGIS del periodo de retorno a 2 años

Fuente. Pasante 2018

Esta figura se aprecian las manchas de inundación casi en la totalidad del tramo en estudio se han magnificado la visualización de las inundaciones modeladas en dos puntos específicos que son los de mayor gravedad el primero de ellos se presenta en la sección uno (1) segundo lugar crítico en la abscisa 0+2400 sección 11 y 12 .



Figura 38. Simulación en ArcGIS del periodo de retorno a 5 años

Fuente. Pasante 2018

En esta figura se aprecian las manchas de inundación en la totalidad del tramo en estudio se ha magnificado la visualización de la inundación modelada, el área superficial de inundación a este periodo de retorno se calcula en 51.479978Ha para todo el tramo de estudio la altura de la lámina de agua llegaría a alcanzar un total de 1.8mtrs



Figura 39. Simulación en ArcGIS del periodo de retorno a 10 años

Fuente. Pasante 2018

En la anterior imagen se pueden apreciar las manchas de inundación en la totalidad del tramo en estudio para este periodo de retorno el área de inundable está calculada en 66.146414Ha, la profundidad de inundación es calculada en 1,70mtrs.

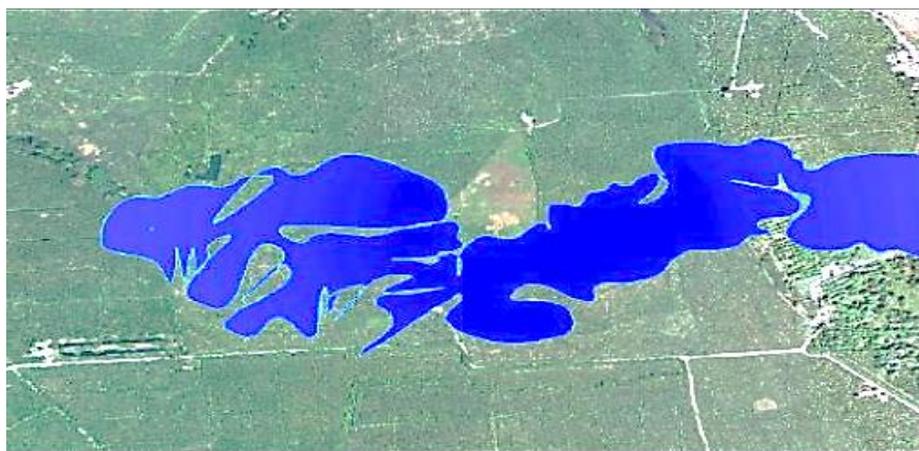


Figura 40. Simulación en ArcGIS del periodo de retorno a 25 años

Fuente. Pasante 2018

En la figura anterior se aprecian las manchas de inundación en la totalidad del tramo en estudio para este periodo de retorno el área de inundable está calculada en 67.451479Ha, afectando claramente los lotes de siembra con una profundidad de inundación de 1.89 mtrs



Figura 41 Simulación en ArcGIS del periodo de retorno a 50 años

Fuente. Pasante 2018

En la anterior figura se aprecian las manchas de inundación en la totalidad del tramo en estudio para este periodo de retorno el área de inundable está calculada en 82.925177Ha, afectando fuertemente los lotes de siembra que se encuentran aledaños con una profundidad de inundación de 2.01 mtrs; esta inundación alcanzara reservorios próximos causando nivel crítico en su capacidad hidraulica y desbordándolos

Tabla 12. Datos numéricos de las áreas de inundación para su respectivo periodo de retorno

PERIODO DE RETORNO	CAUDAL CALCULADO (m ³ /seg)	AREA DE INUNDACION (HA)
2	90.082228	29.3979

5	103.8229	51.479978
10	115.553	66.146414
25	133.131	67.451479
50	148.224	82.925177
100	164.998	92.165755

Fuente. Pasante 2018

Conclusiones

La caracterización climática y las pruebas estadísticas e hidrológicas realizadas a las series de caudal presentan evidencias de cambio en el comportamiento de las series de niveles y caudales registrados en el río Sardinata para los periodos de retorno (2, 5, 10, 25,50 y 100años).

La curva hipsométrica diseñada a partir de las características morfométricas del área natural de drenaje, permitió establecer que esta zona desde la cota 50 presenta un alto poder sedimentario e inestabilidad en su cauce natural.

La información temporal analizada correspondió a la entregada por el IDEAM de las estaciones climatológicas, con un registro de información mayor o igual a 25 años, tomando en consideración la recomendación de la UNESCO de que “para calcular balances hídricos medios son necesarias series extensas de precipitación”; Las series que fueron examinadas y analizadas para el estudio correspondieron a los registros totales diarios y mensuales de la variable precipitación expresadas en milímetros (mm) para cada estación

El periodo de análisis se estableció desde 1991 hasta el año 2016, durante la verificación fueron halladas estaciones con registros de precipitaciones incompletos, en cuyo caso fue necesario aplicar métodos estadísticos de completación para dicha serie diaria; Por último, se verificó la consistencia de la serie de precipitación de cada estación por el método gráfico de curva de doble masa, teniendo en cuenta que “la densidad de las estaciones dentro de una misma región hidroclimática no garantiza que presente un mismo comportamiento climatológico

estacional, y en segundo lugar, el ajuste de los datos de cada serie por dicho método permite reducir los efectos de influencia externa.

Recomendaciones

Todos los indicios presentes en el tramo del río Sardinata desde la cota 50 muestran altas velocidades de flujo y la presencia de estructura hidráulica - hacen necesario que la evaluación, análisis y toma de decisiones se realice con base en los caudales obtenidos para el período de retorno de 100 años.

Garantizar recursos inmediatos para el establecimiento de una red de monitoreo hidrometeorológico para adquisición de datos históricos, y para prevención de desastres (estaciones telemétricas con monitoreo en tiempo real).

Se recomienda, a su vez, realizar un monitoreo periódico del río Sardinata en la zona de influencia del corregimiento, una vez se disponga de nueva información hidroclimatológica y especialmente de caudales del río.

Referencias

- Aguas Y Aguas De Pereira. Oferta y demanda hídrica en la subregión no. 1 del departamento de Risaralda con los municipios de Cartago y la Virginia. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín 2004
- Aquaterra, Ingenieros Consultores Ltda. Diseño de obras de control de erosión en la cabecera municipal de Santa Rosa de Cabal. Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER 1995.
- Contreras Trujillo, Claudia Yaneth; Niño Romero, Raúl. Procesamiento y calidad de la información hidrológica básica. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales subdirección de hidrología IDEAM 1999
- Espinosa Vaquero, Armando. Inventario de desastres históricos de Risaralda. Facultad de Ingeniería de la Universidad del Quindío, Corporación Autónoma de Risaralda CARDER 1997
- González Castaño, Juan Manuel; Orozco Betancurth, Jorge Iván. Geología ambiental de Santa Rosa de Cabal. Corporación Autónoma de Risaralda CARDER 1991.
- Jaramillo Robledo, Alvaro. Clima andino y café en Colombia. Cenicafé Chinchiná Caldas 2005
- Corral, I. (2001), Topografía de obras. 1a edición. Barcelona: UPC Politext, 2001.IHO, (International Hydrographic Organization), (2008), Normas de la IHO para los levantamientos hidrográficos, Publicación Especial nº 44, 5ª Edición, Bureau Hydrográfico Internacional, Mónaco
- IHO, (International Hydrographic Organization), (2005), Manual de Hidrografía, Publicación M-13, 1ª Edición, Bureau Hydrográfico Internacional, Mónaco

- Manzanares, A. y Oliva, D. (2006), Diseño e implantación de una red básica mediante técnicas GPS y levantamiento a escala 1:500. PFC EUIT Topográfica. UPM, Madrid.
- Balkie P., Cannon T., David I., Wisner B. 1996. Vulnerabilidad el entorno social, político y económico de los desastres. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. LA RED.
- Declaración De Manizales. 2004. Conferencia Interamericana sobre reducción del riesgo de los desastres. Reflexiones y propuestas para mejorar la efectividad de la gestión. Noviembre 17, 18 y 19, DNP, varios documentos del Programa para la Reducción de la Vulnerabilidad Fiscal del Estado ante Desastres Naturales: Plan de Implementación del Proyecto, Documento sobre las salvaguardas ambientales del Programa y Presentación sobre la Gestión del Riesgo en Colombia. Sin Publicar. Manizales, Colombia
- Alcaldía Mayor De BogOTÁ. Con exposición fotográfica Tunjuelito festeja cambio de la red de alcantarillado. [En línea]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.bogota.gov.co/article/localidades/tunjuelito/con%20exposicion%20fotografica%20tunjuelito%20festeja>>. [Citado: 21 de marzo de 2014].

Apéndice: Registro Fotográfico







