



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA

ALTERNATIVA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

PROGRAMA DE INGENIERÍA

TÍTULO DEL PROYECTO:

INFLUENCIA DEL FENÓMENO DE LA NIÑA EN LA VULNERABILIDAD A
INUNDACIONES DE LAS QUEBRADAS SANTA LIBRADA Y CURÍ
UBICADAS EN EL SECTOR DE LOS BARRIOS ARIZONA, SANTA
LIBRADA NORTE Y LA FORTALEZA DE LA LOCALIDAD DE USME

PRESENTADO POR:

NOMBRE: JAMES NICOLAS ROMERO CAPERA

CÓDIGO: 505117

PRESENTADO POR:

NOMBRE: PAULA ALEJANDRA GÓMEZ CHAVEZ

CÓDIGO: 505229

BOGOTÁ, D. C., 22 DE 05 DE 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA

ALTERNATIVA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

PROGRAMA DE INGENIERÍA

TÍTULO DEL PROYECTO:

INFLUENCIA DEL FENÓMENO DE LA NIÑA EN LA VULNERABILIDAD A
INUNDACIONES DE LAS QUEBRADAS SANTA LIBRADA Y CURÍ
UBICADAS EN EL SECTOR DE LOS BARRIOS ARIZONA, SANTA
LIBRADA NORTE Y LA FORTALEZA DE LA LOCALIDAD DE USME

PRESENTADO POR:

NOMBRE: JAMES NICOLAS ROMERO CAPERA
CÓDIGO: 505117

PRESENTADO POR:

NOMBRE: PAULA ALEJANDRA GÓMEZ CHAVEZ
CÓDIGO: 505229

DOCENTE ASESOR:

NOMBRE: HENRY ALBERTO CÓRDOBA ROMERO

BOGOTÁ, D. C., 22 DE 05 DE 2018



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas.

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

AGRADECIMIENTOS.

Ante todo, a mi familia, en especial a mi Madre, quien siempre estuvo a mi lado en los momentos más críticos, y siempre confió en mí. También, a mi compañera de trabajo de grado, por los grandes esfuerzos hechos durante este proceso y por su gran amistad. Y para finalizar, a todos los docentes que por uno u otro motivo permitieron que este trabajo culminara de la mejor manera posible, en especial al Ingeniero Henry Córdoba por su asesoramiento en el transcurso del mismo.

JAMES NICOLAS ROMERO CAPERA.

AGRADECIMIENTOS.

Después de un período de aprendizaje intenso, no solo en el campo investigativo, también a nivel personal, me gustaría agradecer a todas aquellas personas que me han ayudado y apoyado durante este proceso. En primera instancia, a mi familia, por sus sabios consejos y su comprensión. Particularmente, a mi compañero de trabajo de grado por su esfuerzo y paciencia durante todo el proceso. Además, me gustaría darle las gracias a mi tutor, por su valiosa ayuda y a cada uno de los docentes por su atención y amabilidad. Incondicionalmente me han brindado todas las herramientas necesarias para completar mi trabajo de fin de grado satisfactoriamente.

PAULA ALEJANDRA GÓMEZ CHAVEZ.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	14
2	ANTECEDENTES	15
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
4	OBJETIVOS	20
5	JUSTIFICACIÓN.	21
6	DELIMITACION	23
7	MARCO DE REFERENCIA	25
8	DISEÑO METODOLOGICO	41
9	SITUACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	42
10	RECOLECCION DE DATOS.....	46
11	USO DE ARCGIS	49
12	CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.....	53
13	CURVAS IDF	72
14	CALCULO DE CAUDAL	86
15	REALIZACION DE HIDROGRAMAS POR HEC-RAS	89
16	MODELACIÓN MEDIANTE HEC-RAS	95
17	ANALISIS	103
	CONCLUSIONES	106
	RECOMENDACIONES.....	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	108
	ANEXOS.....	111

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Tendencia a crecidas según el coeficiente de Gravelius.....	34
Ilustración 2 Mapa de las Quebrada Santa Librada y Quebrada Curí.....	39
Ilustración 3 Diseño Metodológico	41
Ilustración 4 Ladrillera Tramar adjunta a la Q. Curí	42
Ilustración 5 Desagüe de la ladrillera	43
Ilustración 6 Presencia de basura en la Q. Curí.....	43
Ilustración 7 Puente artesanal superior a la Q. Santa Librada.....	44
Ilustración 8 Quebrada Santa Librada	44
Ilustración 9 Presencia de obstáculos y altas velocidades en la Q. Sta. Librada	45
Ilustración 10 Uso de nivel.....	47
Ilustración 11 Tubería encontrada en la Q. Sta. Librada.....	47
Ilustración 12 Curvas de Nivel y las Redes hídricas.	49
Ilustración 13 Acumulación de Flujo.	50
Ilustración 14 Dirección de flujo con punto indicado.	50
Ilustración 15 Cuenca delimitada.....	51
Ilustración 16 Curvas de Nivel delimitadas.	51
Ilustración 17 Red Hidrográfica delimitada.	52
Ilustración 18 Área de la Cuenca.....	53

Ilustración 19 Longitud de la Cuenca.....	54
Ilustración 20 Ancho máximo y mínimo de la cuenca	55
Ilustración 21 Ancho máximo de la cuenca.....	56
Ilustración 22 Perímetro de la Cuenca.....	57
Ilustración 23 Forma de la cuenca	59
Ilustración 24 Longitud de la Corriente de la Q. Sta. Librada.....	60
Ilustración 25 Longitud de la Quebrada Curí	60
Ilustración 26 Curva Hipsométrica de la cuenca.....	64
Ilustración 27 Orden de los Cauces	66
Ilustración 28. Longitud total de los cauces.	67
Ilustración 29 Histograma Mensual.....	76
Ilustración 30 Histograma Anual	77
Ilustración 31 Curvas IDF estación Col San Cayetano	82
Ilustración 32 Curvas IDF estación Col Santiago.....	82
Ilustración 33 Curvas IDF estación Sta. María de Usme	83
Ilustración 34 Curvas IDF estación San Jorge.....	83
Ilustración 35 Curvas IDF Promedio estaciones	83
Ilustración 36 Hidrograma Triangular Unitario.....	91
Ilustración 37 Hidrograma para un T=5 años.....	92

Ilustración 38 Hidrograma para un T=10 años.....	93
Ilustración 39 Hidrograma para un T=15 años.....	93
Ilustración 40 Hidrograma para un T=20 años.....	94
Ilustración 41 Hidrograma para un T=25 años.....	94
Ilustración 42 Asignación de Nombres.....	95
Ilustración 43 Digitalización de bancas.....	95
Ilustración 44 Limitación de la simulación.....	96
Ilustración 45 Líneas de corte del cauce.....	96
Ilustración 46 Sección Transversal.....	97
Ilustración 47 Datos ingresados a HEC-RAS.....	97
Ilustración 48 Insumos en HEC-RAS.....	97
Ilustración 49 Mapa de Inundación.....	98
Ilustración 50 Acercamiento #1 Puntos críticos.....	99
Ilustración 51 Acercamiento #2 Puntos críticos.....	99
Ilustración 52 Acercamiento #3 Puntos críticos.....	100
Ilustración 53 Puntos críticos para T = 5 años.....	100
Ilustración 54 Puntos críticos para T = 10 años.....	101
Ilustración 55 Puntos críticos para T = 15 años.....	101
Ilustración 56 Puntos críticos para T = 20 años.....	102

Ilustración 57 Puntos críticos para T = 25 años 102

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Calculo de Factor de Forma.....	33
Ecuación 2 Coeficiente de compacidad de Gravellius	34
Ecuación 3 Calculo del Caudal por el Método Racional	35
Ecuación 4 Calculo Diámetro.....	58
Ecuación 5 Calculo de la Longitud de la Circunferencia	58
Ecuación 6 Pendiente media	62
Ecuación 7 Elevación media.....	63
Ecuación 8 Pendiente media de la Cuenca	64
Ecuación 9 Longitud total de Cauces.....	66
Ecuación 10 Densidad de drenaje o densidad de la red hidrográfica	68
Ecuación 11 Frecuencia hidrográfica.....	69
Ecuación 12 Método de Kirpich	70
Ecuación 13 Homogenización de datos.....	72
Ecuación 14 Promedio Aritmético de precipitaciones máximas diurnas	78
Ecuación 15 Desviación Estándar	78
Ecuación 16 Coeficientes para determinación de IDF por método de Gumbell	79
Ecuación 17 Modelo de Gumbell	79
Ecuación 18 Calculo de la Variable Reducida	79

Ecuación 19 Calculo de Precipitación XT'	80
Ecuación 20 Calculo de la probabilidad de Ocurrencia.....	80
Ecuación 21 Calculo de corrección intervalo fijo.....	80
Ecuación 22 Calculo de precipitación para diferentes tiempos de duración	80
Ecuación 23 Calculo de Intensidad.....	81
Ecuación 24 Representación según Bernard.....	84
Ecuación 25 Cambio de variable	84
Ecuación 26 Representación según Bernard simplificada	84
Ecuación 27 Ecuación de las curvas IDF en la zona	85
Ecuación 28 Calculo del caudal por el método racional.....	86
Ecuación 29 Calculo del Tiempo de Retardo.....	89
Ecuación 30 Calculo de la duración de la tormenta	89
Ecuación 31 Calculo del Tiempo Pico.....	90
Ecuación 32 Calculo del Tiempo Base	90
Ecuación 33 Calculo del Caudal pico unitario.....	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen datos de campo	48
Tabla 2 Clasificación de la Cuenca mediante el área	54
Tabla 3 Tendencia a crecidas según el coeficiente de Gravelius.	59
Tabla 4 Distribución porcentual del área entre cotas	63
Tabla 5 Longitudes Curvas de nivel dentro de la cuenca	64
Tabla 6 Continuación Longitudes Curvas de nivel dentro de la cuenca.....	65
Tabla 7. Longitud total de los cauces dentro de la Cuenca.	67
Tabla 8 Continuación Longitud total de los cauces dentro de la Cuenca....	68
Tabla 9 Tabla resumen características geomorfológicas.....	71
Tabla 10 Coordenadas de las estaciones suministradas por el IDEAM.....	72
Tabla 11 Precipitaciones totales de la estación Col San Cayetano	73
Tabla 12 Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Colegio San Cayetano	73
Tabla 13 Precipitaciones totales de la estación Col Santiago.....	74
Tabla 14 Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Col Santiago	74
Tabla 15 Precipitaciones totales de la estación Sta. María de Usme	74
Tabla 16 Precipitaciones máximas en 24 horas en la estación Sta. María de Usme	74
Tabla 17 Precipitaciones Totales en la estación San Jorge.....	75

Tabla 18 Precipitaciones máximas en 24 horas en la estación San Jorge .	75
Tabla 19 Promedio de precipitaciones totales	75
Tabla 20 Promedio de precipitaciones máximas en 24 horas.....	76
Tabla 21 Parámetros iniciales de construcción curva IDF	78
Tabla 22 Cálculo de las láminas para distintas frecuencias.....	79
Tabla 23 Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.....	80
Tabla 24 Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias	81
Tabla 25 Intensidades de lluvia para diferentes tiempos de duración.....	81
Tabla 26 Resumen regresión Potencial	85
Tabla 27 Datos intensidad lluvia según el periodo de Retorno (Promedio).	86
Tabla 28 Coeficientes de esorrentía para ser usados en el método racional.	87
Tabla 29 Coeficientes de esorrentía para ser usados en el método racional.	87
Tabla 30. Datos adicionales.....	88
Tabla 31 Caudales según el Periodo de Retorno en años en.....	88
Tabla 32 Caudales según el Periodo de Retorno en años en.....	88
Tabla 33 Precipitación según periodo de Retorno	91
Tabla 34 Caudal Pico por cada periodo de retorno.....	92

1 INTRODUCCIÓN.

En Colombia de los desastres naturales más frecuentes son las inundaciones, en gran parte debido a la formación geográfica que el país tiene, pues está conformado por tres grandes cordilleras y extensas planicies fácilmente inundables entre ellas. Adicionalmente, el asentamiento de viviendas en zonas circundantes a cuerpos de agua es un factor determinante, puesto que, debido al aumento del nivel en la marea, la ocurrencia de avalanchas, y al aumento de vertientes como consecuencia de las precipitaciones, puede presentarse una ocupación temporal de terrenos por volúmenes de agua. Lo anterior se ve alterado por el fenómeno ENOS (específicamente la Niña) debido a que aumenta significativamente las precipitaciones.

En Bogotá las localidades más vulnerables a estos desastres irónicamente son también “las localidades de menores recursos, esto por las zonas en las cuales suelen situarse y por la pobre calidad de infraestructura en la que en ocasiones sus viviendas fueron construidas una de las localidades más expuestas a la ocurrencia de inundaciones es Usme”¹, que incluso cuerpos de agua como la quebrada Santa Librada ya han tenido precedentes de desbordamientos causando daños a los inmuebles, e infraestructuras cercanas a la misma.

El hombre, con el fin de evitar impactos negativos ha desarrollado diferentes estrategias para identificar las zonas susceptibles de inundaciones, una de ellas y quizás la más avanzada es la utilización de sistemas de información geográfica (SIG), los cuales facilitan y mejoran el acceso a la información.

Teniendo en cuenta esto, con el fin de evitar pérdidas generadas por inundaciones a lo largo de este proyecto se implementó el uso de SIG para realizar una correcta proyección y de esta manera facilitar la toma de decisiones y generar un bien a la comunidad ubicada en las zonas cercanas de la quebrada Santa Librada y Curí.

¹ Filardi, Francesco Ambrosi. «CONVENIO INTERADMINISTRATIVO METROVIVIENDA – SECRETARÍA DE AMBIENTE 016 DE JULIO DE 2009». (2011): 1-432. Print.

2 ANTECEDENTES

En primera instancia, esta investigación ha sido precedida por estudios, formulaciones y demostraciones de maneras de calcular la influencia del fenómeno ENOS en el aumento de precipitaciones a lo largo del tiempo, específicamente en países intertropicales como es el caso de Colombia.

De manera general, la hidroclimatología colombiana vista desde escala temporal anual, década es prácticamente controlada por el fenómeno ENOS, sin embargo, el comportamiento climatológico de Colombia no es constante, esto se debe a que el “fenómeno ENOS tiene una variabilidad estacional, pues comienza durante los meses de mayo y junio alcanzando su máximo desarrollo durante el tiempo los meses de diciembre y enero. Pero también tiene una componente cuasi-bienal con un tiempo de recurrencia entre 2 a 2,5 años, así como una baja frecuencia, con una recurrencia entre 4-5 años.”²

“Analizando la geografía de Colombia se observa que el país colombiano es caracterizado por tener tres cordilleras y unas áreas de planicie inundables.”³ Además, el deterioro de la cobertura vegetal, específicamente en las zonas altas y medias de las cuencas aumenta la probabilidad de inundación, “ya que las propiedades del suelo y las condiciones de saturación previas a una precipitación son factores determinantes en la producción de la escorrentía posterior a una lluvia.”⁴ Es por esto, que factores como la deforestación, la impermeabilización, la desecación de humedales y la expansión de la agricultura aumentan significativamente la vulnerabilidad a sufrir inundaciones, debido a que contribuyen al aumento de la escorrentía en los ríos, al depósito de sedimentos en los cauces y a la desestabilización de suelos saturados, que pueden generar represamientos y posteriores avenidas torrenciales que afectan poblaciones e infraestructura vial.

² Germán Poveda, ‘La Hidroclimatología De Colombia : Una Síntesis Desde La Escala Inter-Decadal Hasta La Escala Diurna’, *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias*, XXVIII.107 (2004), 201–22.

³ Ávila Díaz Alvaro Javier Sedano Cruz Karim, Carvajal Escoar Yesid, ‘Análisis de Aspectos Que Incrementan El Riesgo de Inundaciones En Colombia’, *Luna Azul*, 2013, 219–218.

⁴ *Ibíd.*

De tal manera que en términos de tipología de los registros a lo largo del tiempo “predominan a nivel nacional las inundaciones y deslizamientos, que junto con todos los eventos hidrometeorológicos representan el 75 % de los registros, sin embargo, a nivel local en las cinco ciudades con mayor población Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Cartagena, los registros más recurrentes son por inundaciones e incendios.”⁵

La adecuada proyección respecto a los posibles aumentos de precipitaciones teniendo en cuenta la influencia de factores macro-climáticos como el fenómeno ENOS ha sido una de las metas de distintas entidades y de distintos estudios. Uno de los métodos más usados en la actualidad para la determinación de vulnerabilidad a sufrir inundaciones es la implementación de sistemas de información geográfica (SIG), uno de estos casos fue la utilización del “Software HidroSIG Java el cual fue desarrollado en el Atlas Hidrológico de Colombia, para fin de apoyar la gestión del recurso hídrico”⁶ en cuencas mayoritariamente rurales.

Así mismo, en la determinación de amenazas por inundación en el municipio de Chía, Cundinamarca, donde el objetivo de este estudio fue la obtención de “información útil para que los organismos de control puedan visualizar las áreas que tienen mayor amenaza de inundación y así generar mecanismos de mitigación y prevención frente a futuras épocas invernales como la ocurrida en el 2011.”⁷

Al igual que en el anterior caso, se realizó un estudio de inundación para la localidad de Tunjuelito, donde mediante “la ayuda de las herramientas de información geográfica, en este caso se empleó un sistema de libre distribución llamado QGIS”⁸ se generó un mapa de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito.

⁵ Ana Maria Aguilar and Geovanny Bedoya, ‘Creación, Actualización Y/o Homogeneización de Inventarios de Desastres Por Eventos Históricos Y Cotidianos a Nivel de La Subregión Andina’, 2008, 69 <<http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/r2/osso/Cons025-2006-CorporaciónOSSO-InformeColombia-1.8.pdf>>.

⁶ Correa Paula Vélez Jaime, ‘Sistema de Información Geográfica Para Apoyar La Gestión Del Recurso Hídrico En Cuencas Rurales’.

⁷ Luisa Fernanda Mejía Bejarano and David Felipe Chicù Álvarez, ‘Análisis De Vulnerabilidad Territorial Por Inundación En El Municipio De Chía, Cundinamarca.’, 2014, 73.

⁸ Leidy A. Robayo Mejía, ‘Análisis de Amenaza Por Inundación Para La Localidad de Tunjuelito, desarrollado a Través de Sistemas de Información Geográfica.’, 2014, 56

En general “la metodología aplicada en estos estudios se desarrolló en varias etapas, constando de la recopilación de información, el procesamiento de la topografía de la cuenca, el estudio de la dinámica del clima en la zona, la evaluación de la oferta de agua, una evaluación de la demanda y balance hídrico decisiones en cuanto a la asignación y uso del recurso.”⁹

<http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1578/1/Análisis_amenaza_inundación_Tunjuelito_por_SIG.pdf>.

⁹ Robayo Mejía. Óp. Cit.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Descripción del Problema

En primera instancia, el problema surge al tener precedentes en inundaciones de la quebrada Santa Librada, esto en gran medida por factores como la geometría de la quebrada influenciando el curso de las aguas, la capacidad hidráulica de la misma y parámetros climáticos como la presencia y efecto del fenómeno de la Niña.

Por consiguiente, los diferentes Servicios Meteorológicos tratan de mejorar los modelos de predicción de la eventualidad, intensidad y persistencia del Fenómeno de la niña para prevenir y mitigar las consecuencias. Se utilizan fuentes de información y se alcanza un acuerdo entre las observaciones para establecer un pronóstico definitivo, el cual no se da a conocer hasta que el fenómeno no de inicio. Hasta ahora la posibilidad de pronosticar con antelación la venida del Fenómeno del Niña produce excesiva incertidumbre, ya sea por el año en que tendrá incidencia o el periodo del año en que las lluvias tendrán su mayor intensidad, así como su duración e intensidad. La intención del esfuerzo de los científicos es dar una mejor capacidad de previsión.¹⁰

Como se mencionó anteriormente, la localidad de Usme tiene gran incidencia debido a la gran cantidad de fuentes hídricas, estos fenómenos de precipitación provocan el desbordamiento de ríos. La capacidad hidráulica de la quebrada determina la cantidad de agua que puede circular por el cauce sin producir desbordamiento, este volumen almacenado está determinado por factores físicos de la quebrada, la cantidad de caudal natural y los niveles de lluvia que pueda captar. Estos rebosamientos de agua producen él ocupa miento en zonas que generalmente están libres de ellas, afectando la naturaleza y estructuras cercanas.

¹⁰ Sedano Cruz, Karime, y Yesid Carvajal Escobar. «Variabilidad climática, cambio climático y gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia». Revista Semillas Cc (2013): 47-53. Web.

De esta manera, con el paso del tiempo, la humanidad se ha ingeniado a la hora de idear soluciones para esta problemática, una de ellas es la canalización de las quebradas, la cual busca rectificar el curso del río, mitigar los riegos o peligros que este podría presentar y estabilizar los terrenos de las márgenes para mantener su cauce.¹¹ Sin embargo, antes de implementar una solución, se deben generar estudios, incluyendo entre otros, la determinación de la zona vulnerable ampliando así, la referencia en cuanto a la situación actual, y facilitando la posterior toma de decisiones.

3.2 Formulación del Problema

Partiendo de lo anterior se plantea la pregunta: ¿Qué tan expuesta está el sector cercano a la quebrada Santa Librada a una inundación y de qué manera influye el fenómeno ENOS en esta problemática?

¹¹ Saurí, David et al. «La percepción del riesgo de inundación: experiencias de aprendizaje en la Costa Brava». Papeles de Geografía 52 (2010): 269-278. Web.

4 OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Analizar y diagnosticar las incidencias de los cambios climáticos, según los niveles de lluvia en la cuenca de la quebrada Santa Librada y Curí localizadas en un punto determinado de Bogotá, teniendo en cuenta la influencia que tiene el fenómeno de la niña en las estructuras de vivienda cercanas.

4.2 ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis de lluvias adecuado y enfocado en el sector de la localidad de Usme, ubicada en la ciudad de Bogotá, Colombia.
- Definir el riesgo o la probabilidad de que ocurra una inundación por un desbordamiento de la quebrada Santa Librada, con periodos de retorno cada 5 años hasta 25 años.
- Realizar un diagnóstico del comportamiento del fenómeno de la niña en los últimos años y obtener una estimación de la magnitud de precipitaciones futuras.
- Determinar las zonas que pueden llegar a inundarse, mediante la elaboración de un mapa de inundación en la zona de estudio, teniendo en cuenta el fenómeno de la Niña, para facilitar a las autoridades respectivas la toma de decisiones.

5 JUSTIFICACIÓN.

Actualmente uno de los problemas más frecuentes en el mundo es la ocurrencia de inundaciones, específicamente en la zona ubicada entre los trópicos de capricornio y cáncer, donde se aumenta la probabilidad de esta ocurrencia, esto se debe a la presencia de factores macro-climáticos como lo es el fenómeno ENOS. Tanto por el desbordamiento de ríos como por las grandes precipitaciones, las inundaciones son consideradas como catástrofes ambientales, pues, estas mismas pueden llegar a causar daños a inmuebles de las viviendas, infraestructuras de la zona afectada e incluso generar pérdidas de vidas.

Del mismo modo, para la mitigación de daños o consecuencias que desata la ocurrencia de desastres naturales se requiere una interacción de información y datos obtenidos a lo largo del tiempo, especialmente en las zonas afectadas o a analizar, para así generar una relación que facilite unos resultados de estudios más cercanos a la realidad.

Con el paso del tiempo y con un aumento en el campo tecnológico, la implementación de software especializado en diversos campos de estudio y la facilidad de obtener de información mediante el internet se redujo la dificultad de su manejo, con la implementación de sistemas de información geográfica (SIG). El cual “sirve especialmente para dar solución a problemas o preguntas sobre planificación, gestión y distribución territorial o de recursos. Son utilizados en investigaciones científicas, en arqueología, estudios ambientales, cartografía, sociología, historia, marketing y logística, entre otros campos.”¹²

Por esta razón en Colombia el uso adecuado de sistemas de información geográfica ha sido intensificado y aplicado para la proyección, la toma de decisiones, la educación y en el desarrollo de comunidades de una manera mucho más confiable y ordenada.

¹² Colombia Ministerio de Educación Nacional, ‘Sistema de Información Geográfico Del Sector Educativo’, 2015 <<http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>> [accessed 6 September 2017].

Partiendo de lo anterior, se planteó la necesidad de cubrir este problema con las herramientas a disposición, como son los análisis de inundación y los datos obtenidos por las diferentes incidencias del Fenómeno ENOS en los últimos años, de esta forma se pretende tener una idea de la intensidad con la que serán afectadas las viviendas más cercanas a las rondas de la quebrada, y de esta forma facilitar la toma de decisiones para mitigar el impacto de este fenómeno en el futuro.

6 DELIMITACION

6.1 Espacio

Dentro de los límites del proyecto se encuentra en primera instancia, el área de estudio pertinente a la cuenca de la quebrada Santa Librada y Curí, puesto que distintas cuencas hidrográficas difieren notablemente en sus características y comportamientos.

6.2 Tiempo

Adicionalmente, debido a el tiempo establecido, este proyecto se limita a la determinación del mapa de inundación que permita la toma de decisiones, adicionalmente, se dejarán recomendaciones y pequeñas pautas para futuras investigaciones similares a esta.

6.3 Contenido

Además, cabe aclarar que este proyecto se basa en información recopilada por medio de investigación mayormente cibernética, por consiguiente, los resultados obtenidos a lo largo de la investigación serán meramente teóricos.

Igualmente, solo se evaluarán los aspectos y factores determinantes del Fenómeno de la niña y la influencia de este fenómeno, ya que se tendrá en cuenta solo la temporada de lluvias intensas. Además, ya que este fenómeno tiene una incidencia cada 5 a 8 años y se ve afectado en gran medida por el calentamiento global, se tiene un cambio drástico de sus niveles de influencia en cada periodo. Los resultados del análisis realizado estarán vigentes hasta que las condiciones del estudio tengan un cambio que estadísticamente altere la veracidad de los mismos.

6.4 Alcance

Así mismo, debido a que es un trabajo que depende en gran parte de condiciones que varían con el tiempo, no se puede tener una certeza acerca de los resultados hasta que no se evalúan las condiciones iniciales del Fenómeno. Para finalizar, y como se mencionó anteriormente, este proyecto

se limita hasta el estudio y la elaboración del mapa de inundación, omitiendo así, el posible diseño de algún tipo de solución en caso de ser necesaria.

7 MARCO DE REFERENCIA

7.1 MARCO TEÓRICO.

El Cambio Climático sucede de manera gradual y de forma natural durante periodos de miles de años, afectando la geología de la tierra, por lo tanto, es afectado por factores como: el ciclo solar, la disposición de los continentes, las corrientes marinas, la posición astronómica del planeta y la composición de su atmósfera.¹³

Además, la atmósfera se define como el tipo y cantidad de gases que rodean el planeta, está compuesta por dióxido de carbono (CO₂), el vapor del agua, entre otros que la constituyen. Estos gases absorben parte de las radiaciones que emite la Tierra por lo que disminuyen la transferencia de calor desde el planeta hacia el espacio exterior. La progresiva acumulación en la atmósfera de los gases que producen el efecto invernadero, da lugar a un creciente aumento de la temperatura de la superficie de la Tierra favoreciendo al Calentamiento Global.¹⁴

De esta manera, el tema del calentamiento global se ha destacado en los últimos años, la dependencia actual a los combustibles fósiles es el factor más importante que contribuye a esto, es necesario explicar el concepto de cambio que se presenta de manera continua en distintas escalas espaciales y temporales (días se alternan con noches, periodos lluviosos con periodos secos, eras glaciales que se alternan con temporadas más cálidas, el surgimiento y extinción de especies, el nacimiento, desarrollo y posterior muerte de organismos). Así que lo que provoca el aumento de la temperatura es el resultado de una infinidad de interacciones entre componentes del planeta.¹⁵

¹³ Pabón, José Daniel. «El cambio climático global y su manifestación en Colombia». Cuadernos de Geografía: XII (2003): 111-119. Web.

¹⁴ Fula, Katherin, y Claudia Ayala. «Más Que Un Tema De Moda». Estudiantes de Administración de Empresas y Gestión Ambiental de la Fundación Universitaria Monserrate (2007): 13-22. Print.

¹⁵ «Redalyc calentami». (2008): n. pag. Print.

Respecto a lo que fenómeno se refiere, se puede afirmar que un fenómeno, es cualquier manifestación física que puede ser confirmado por la relación directa o medición indirecta, respecto al fenómeno del ENOS, es decir, el evento El Niña/Oscilación del Sur, el cual, de manera general, ocasiona fuertes lluvias en algunos sectores y grandes sequías en otras partes a lo largo de la zona intertropical, siendo esta comprendida entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio. De igual manera, así como existe el fenómeno del Niña, existe su contraparte denominado como el fenómeno de la Niño, este fenómeno causa efectos contradictorios comparándolos contra los efectos producidos por el fenómeno del Niña.

Ante todo, “Aunque el origen de los fenómenos El Niño y La Niña data de miles de años atrás, cada vez hay más evidencias de que el cambio climático de origen humano (por aumento en las concentraciones GEI), puede estar influyendo en aumentar la frecuencia, intensidad y magnitud de estos fenómenos.”¹⁶ De tal forma que la presencia del calentamiento global indirectamente afecta el comportamiento de los fenómenos El Niño y La Niña haciendo que estos tengan un comportamiento significativamente más agresivo, es por esto que con el paso del tiempo, estadísticamente hablando el fenómeno ENOS tiende a tener más actividad a medida que un nuevo ciclo del mismo inicia.

Al momento de hacer una comparación respecto a los efectos que el ENOS influye a lo largo del continente suramericano, se ha de tener en cuenta no solo las precipitaciones caídas dentro de una determinada cuenca hidrográfica, sino también el rol moderador de lagos naturales y represas, las características geológicas de la región, el tamaño de la cuenca y la influencia que tiene la retentiva que tiene la cubierta vegetal sobre el terreno. También es necesario hacer la especificación de cuándo empieza un año meteorológico, y es que, “en los lugares superiores a la línea del ecuador, la madurez del fenómeno ENOS llega a mediados del mes de septiembre, mientras que en lugares templados de la costa oeste tienen sus máximas precipitaciones y descargas durante los meses invernales que se hallan en el

¹⁶ IDEAM and others, ‘Evolución de Precipitación Y Temperatura Durante Los Fenómenos El Niño Y La Niña En Bogotá - Cundinamarca (1951-2012)’, 2014, 16.

centro del año,”¹⁷ por lo cual en estos casos coincidiría el año hidrológico junto con el año calendario. Respecto al aspecto físico de la cuenca hidrográfica, este aspecto se debe tener en cuenta debido a que “dentro de una región establecida existe una enorme variabilidad espacial entre un caso y otro”¹⁸, y esto notablemente se da más, cuando la cuenca hidrográfica tiene un menor tamaño.

En lo que respecta el IDEAM, como la autoridad nacional en cuanto a el cambio climático se habla, reporta que en el país la influencia de los fenómenos de El Niño y La Niña en los regímenes de, no siguen un patrón común. A lo largo del ciclo del fenómeno de la Niña se han percibido disminuciones en la precipitación en la región Caribe, mientras que hay aumentos en la región Pacífica, piedemonte llanero y suroccidente de la Amazonía. Los cambios climáticos no han sido, ni serán uniformes para toda la Región Capital. Debido a que en términos generales el oriente del departamento se caracteriza por un clima predominantemente orinocense, es decir, “un régimen monomodal con pico de lluvias en mayo-noviembre y tiempos secos en diciembre-abril.”¹⁹ Por otro lado, en el centro de la región incluyendo Bogotá, y occidente del departamento, tienen un régimen bimodal, el cual es “propio de los Andes, con picos de lluvias entre abril-mayo y octubre-noviembre y periodos secos entre diciembre-febrero y julio-septiembre. Cuando El Niño y La Niña se presentan, estas tendencias estacionales relativamente marcadas, se hacen más difusas a lo largo del año, teniendo lluvias o sequias durante más meses al año.”²⁰

Estos factores descritos previamente son determinantes a la hora de realizar un estudio hidrológico, esto principalmente a la hora de analizar la hidrología de países ubicados en la zona intertropical como es el caso de Colombia, estos países son afectados directamente por el cambio climático, y fenómenos climáticos los cuales generan cambios tanto en las precipitaciones como en las temperaturas, y esto ocasiona que al momento de estudiar los efectos que tienen estos fenómenos climáticos se observa el

¹⁷ César Caviedes, 'Influencia de ENOS Sobre Las Variaciones Interanuales de Ciertos Ríos En América Del Sur', *Bulletin de l'Institut Français D'études Andines*, 27.núm. 3 (1998).

¹⁸ Caviedes. Óp. Cit.

¹⁹ IDEAM and others. Óp. Cit.

²⁰ *Ibíd.*

problema de una falta de uniformidad de estos datos respecto al tiempo transcurrido.

Como fue mencionado anteriormente, el país colombiano es caracterizado por tener tres cordilleras y unas áreas de planicie fácilmente inundables. Según el IDEAM “el 31% de toda la población está expuesta a amenaza alta y media por movimientos en masa, asociados a crecientes súbitas. Y las zonas susceptibles de inundación involucran al 48% de la población con niveles de vulnerabilidad altos por índices de pobreza, déficit de vivienda, bajas coberturas de acueducto y alcantarillado, y un bajo potencial de recuperación frente a un desastre.”²¹ Además, indican que “el 12% del territorio nacional se encuentra localizado en áreas con una mayor susceptibilidad a inundarse.”²²

“Además, posee un ciclo hidrológico dinámico al estar ubicada en la zona intertropical, y como fue mencionado anteriormente, en esta zona del planeta se ocasionan variaciones en la distribución espacio-temporal de la precipitación, de la temperatura y de otras variables climatológicas.”²³ Su capital Bogotá, presenta un crecimiento poblacional y una expansión territorial considerable, y esto sumado a los diferentes fenómenos naturales mencionados, a una mala administración de recursos y una mala planeación, puede presentar catástrofes entre las cuales, una de las más comunes son las inundaciones.

Teniendo en cuenta, lo factible que puede una inundación ser causada por efecto del fenómeno de la Niña y las fuertes precipitaciones que este mismo trae consigo mismo, y para realizar un plan para mitigar los daños ocurridos por estas catástrofes, es necesario realizar un análisis de inundación para una zona determinada, y para la realización del mismo, se debe llevar a cabo una inspección del punto de análisis, para determinar características topográficas, geográficas, de infraestructura y cultural; esto con la idea de realizar un modelo en el cual la incertidumbre sea lo menor posible, esto se

²¹ IDEAM, ‘Amenaza Por Inundación’, 1 (2017), 47 <<http://www.ideam.gov.co/documents/24277/0/Presentación+amenaza+por+inundación/835cd7ee-7fb3-417c-ac6b-dd3d3a960cda>>.

²² *Ibíd.*

²³ Sedano Cruz Karim, Carvajal Escoar Yesid. *Óp. Cit.*

dificulta seriamente por la interacción del fenómeno de la Niña, el cual en Colombia, en sus fases extremas influye drásticamente, caracterizando eventos hidrometeorológicos aumentando tormentas, sequías, precipitaciones, entre otros. Esto hace que se afecte el pronóstico climático, potenciando la incertidumbre en la proyección hidráulica. Pues este fenómeno no está actuando constantemente, es decir, el fenómeno de la Niña tiene un periodo activo y otro pasivo, en donde se puede notar su presencia y en donde no respectivamente.

7.2 MARCO CONCEPTUAL.

Inicialmente, el análisis de inundación incorpora una gran variedad de herramientas que permiten estimar el riesgo de inundación o de sus componentes, de esta forma se puede tener un estudio de vulnerabilidad. Estos términos son una contribución para la realización de este proyecto.

Partiendo de esto, el fenómeno de la niña, es un fenómeno meteorológico, con ocurrencia irregular en intervalos de tres a cinco años. Debido al cambio de comportamiento del clima en el Océano Pacífico, inicia con una fuerte caída de los vientos alisios, ocasionando que el sistema de circulación de aire sea interrumpido y las aguas cálidas que se encontraban en Oceanía y Asia se dirijan a Sudamérica. El proceso anterior provoca el evaporamiento de estas aguas causando las fuertes lluvias inusuales a lo largo de toda la costa Pacífica e inundaciones en diferentes regiones.²⁴

Así mismo, la inundación es el fenómeno natural que se produce cuando ocurre un desbordamiento en ríos, lagunas, lagos y mar; ocasionando que zonas de tierra se cubran o llenen de agua. De este modo, existen inundaciones súbitas y lentas, siendo las primeras distinguidas por la generación de grandes cantidades de agua en un periodo muy corto, “es frecuente que ocurra en ríos de zonas montañosas con bastante pendiente”²⁵, por el contrario, las inundaciones lentas son aquellas donde el periodo en el

²⁴ «Fenómeno de la Niña». N.p., s. f. Web. 13 sep. 2017.

²⁵ SERGIO ALEJANDRO ALVARADO BELLO, 'Uso De Un Sistema De Información Geográfica Para El Análisis De Amenaza Por Inundaciones En La Cuenca Alta Del Río Bogotá-Municipio De Cota-L{lmites Localidad De Suba}', 2014 <<http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1800/1/Uso-SIG-para-análisis-amenaza-inundaciones-cuenca-alta-río-Bogotá.pdf>>.

que se genera es más largo, y se generan sobre terrenos planos, cercanos a los ríos o donde las lluvias son frecuentes o torrenciales.

Del mismo modo, existen otros factores que aumentan el riesgo de ocurrencia de una inundación, entre los cuales se encuentran factores como el fenómeno de la niña, el cambio climático, la superpoblación, la mala utilización de recursos, la geografía y topografía del lugar, y aspectos psicosociales como lo son el asentamiento de viviendas de manera irregular específicamente en lugares cercanos o circundantes a cuerpos de agua.

Adicionalmente, se entiende por análisis de inundación como el proceso de estudio de todos los factores que aumentan la probabilidad de que ocurra una inundación de un lugar teniendo en cuenta sus propiedades hidrográficas, es común apoyarse en modelos teóricos, experimentales y en la modelación por software de computadoras para la realización de estos análisis.

Igualmente, la ocurrencia se define como la probabilidad de producirse un evento, en este caso un desbordamiento. La intención del cálculo de nivel de riesgo es desarrollar una mejor comprensión de las interrelaciones y dinámicas sociales de la percepción del riesgo de inundación, preparación, vulnerabilidad, daños y gestión y tener esto en cuenta en la implementación de soluciones.²⁶ Por lo tanto, la vulnerabilidad es un factor que se relaciona con características que influyen en la capacidad o incapacidad de un individuo o grupo para anticipar, hacer frente a, resistir y recuperarse del impacto de las inundaciones.²⁷

En el mismo orden, la habitabilidad, “significa que debe cumplir con ciertos estándares con relación a las condiciones acústicas, térmicas y de salubridad, esto es, sonidos, temperatura y sanidad, o de otro modo, protección contra ruidos, comodidad ambiental e higiene, aunque hoy en día se agrega el ahorro de energía.”²⁸ En ese sentido, dentro de las tantas características involucradas en la habitabilidad está presente la vulnerabilidad

²⁶ Paper, Working. «www.econstor.eu». (2005): n. pag. Print.

²⁷ Karmakar, Subhankar et al. «An Information System for Risk-Vulnerability Assessment to Flood». *Journal of Geographic Information System* 2.3 (2010): 129-146. Web.

²⁸ Moreno Olmos and Silvia Haydeé, ‘La Habitabilidad Urbana Como Condición de Calidad de Vida’, *Palapa*, 3.2 (2008), 47–54 <<http://www.redalyc.org/>>.

a inundaciones, debido a que esta hace parte de la comodidad ambiental y de la seguridad de las personas que habitan en un determinado sector.

Además, se puede concluir que “sin habitabilidad no hay calidad de vida o, mejor dicho, la habitabilidad constituye una condicionante para el desarrollo de calidad de vida dentro del espacio urbano.”²⁹ Por ende, la vulnerabilidad a inundaciones juega un papel importante en la calidad de vida.

De acuerdo con todo lo anterior, con la realización de un modelo matemático se pretende representar el fenómeno ENOS y proporcionar una representación simplificada de este fenómeno para facilitar su comprensión y que permita llegar a concluir el riesgo y la vulnerabilidad de las zonas comprendidas en el estudio.³⁰ De este modo, en la realización de este estudio, se llevó a cabo la implementación de software que facilita la ejecución de modelos matemáticos.

Como se mencionó previamente, el uso de sistemas de información geográfica es un gran aliado en la realización de estudios similares a este, pues permite entre tantas cosas, la comparación de resultados obtenidos con la ubicación geográfica donde se dieron estos resultados³¹, es por esto, que en la realización de este estudio se implementó el uso de un SIG, que gracias a las facilidades y la cantidad de herramientas y beneficios que ofrece, se determinó que el uso de ArcGIS es más conveniente.

Por otro lado, debido a que este estudio se enfoca en lo que el fenómeno de la niña o ENOS influye tanto en las precipitaciones de la zona, como en la vulnerabilidad a una inundación de la misma, se debe llevar a cabo un análisis de intensidad de lluvias en la zona, que permita realizar una predicción de las mismas. De esta manera, uno de los factores que influye en las precipitaciones es la intensidad de las mismas, la cual, se define como “la

²⁹ Olmos and Haydeé. Óp. Cit.

³⁰ Marino Latorre Ariño, ‘¿QUÉ ES UN MODELO CIENTÍFICO? Introducción Al MODELO T’ <http://www.editorialbruno.com.pe/MarinoLaTorre/wp-content/uploads/2013/12/que_es_un_modelo_cientifico.pdf> [accessed 18 March 2018].

³¹ ArcGIS Resource Center, ‘Introducción a SIG’ <<http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>> [accessed 18 March 2018].

magnitud de una lluvia fuerte”³², al igual que la intensidad, otro factor importante en el análisis de precipitaciones es la frecuencia y la duración. Es por esto, que las curvas IDF son una gran herramienta a la hora de realizar un análisis de precipitación, y más aún cuando se necesita de una proyección, esto debido a que como las siglas lo expresan, las curvas IDF grafican la intensidad, la duración y la frecuencia, permitiendo un análisis gráfico y la interpretación conjunta de las mismas.³³

Adicionalmente, los factores geomorfológicos son determinantes en los procesos hidrológicos y en la disponibilidad del recurso hídrico de una cuenca. “Las características fisiográficas y geomorfológicas que influyen directamente en el régimen hidrológico lo integran 30 parámetros hidrofisiográficos, los cuales permiten aportar en forma sintética los principales factores y las características morfo métricas e hidrográficas dentro de una cuenca Ambiental.”³⁴

En primer lugar, el área de una cuenca “es la principal magnitud de referencia en hidrología y se define como aquella área superficial comprendida entre los límites de la divisoria de aguas, integrando áreas parciales entre curvas de nivel sucesivos sobre un mismo río. En una cuenca hidrográfica todas las características morfo métricas se pueden correlacionar con el tamaño de la cuenca.”³⁵

En segundo lugar, un factor importante es la longitud de la cuenca, pues “los caudales crecen con la longitud de la Cuenca debido al aumento de la superficie de captación. Además, la longitud de la Cuenca influye por sí misma en las principales características de las crecidas; la duración media total de las crecidas se relaciona satisfactoriamente con la longitud del río.”³⁶

Además, otro factor geomorfológico es el factor de forma, más aún cuando “la forma de la cuenca incide sobre el régimen hidrológico, y esta variable

³² IDEAM, ‘CURVAS IDF’ <<http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>> [accessed 28 March 2018].

³³ *Ibíd.*

³⁴ IDEAM and Fidel Alberto Pardo Ojeda, ‘Guía Metodológica Para Los Cálculos Y Obtención de Los Parámetros Hidrofisiográficos’, 2001. *Óp. Cit.*

³⁵ *Ibíd.*

³⁶ *Ibíd.*

evalúa la elongación de una cuenca. El comportamiento de los caudales en una cuenca larga y estrecha es diferente a la que puede presentar una cuenca amplia y redondeada.”³⁷ Este parámetro permite considerar los tiempos de concentración de las aguas máximas en un lugar determinado de la cuenca. Generalmente, si el valor se encuentra alrededor de 0.78 la cuenca es circular; valores mayores (< a 1) las cuencas son alargadas.³⁸

Ecuación 1 Calculo de Factor de Forma

$$Ff = \frac{Bc}{Lc}$$

Donde:

- B_c = Ancho medio de la cuenca
- L_c = Longitud de la Corriente

Una cuenca con factor de forma bajo esta menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño, pero con mayor factor de forma. De esta forma se tiene que, “para valores de Ff, inferiores a 1, implicara formas alargadas, y cuanto menor sea Ff más alargada será la forma de la cuenca.”³⁹

Al mismo tiempo, “para facilitar la comparación geométrica de cuencas hidrográficas, se recomienda comparar cuencas reduciéndolas a figuras simples cumpliendo determinados coeficientes de analogía, entre ellas la circunferencia teniendo en cuenta el área calculada.”⁴⁰ A esto se le conoce como longitud de la circunferencia.

Además, Uno de los índices de forma más utilizados en hidrología es el índice de Gravellius el cual “permite comparar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo que comprende aproximadamente de igual área.”⁴¹ De esta relación se obtiene la siguiente ecuación:

³⁷ IDEAM and Pardo Ojeda. Óp. Cit.

³⁸ Ibid.

³⁹ Germán Monsalve Saénz, ‘Hidrología En La Ingeniería’, 2008, p. 382.

⁴⁰ IDEAM and Pardo Ojeda. Óp. Cit.

⁴¹ Ibid.

Ecuación 2 Coeficiente de compacidad de Gravellius

$$Kc = \frac{0.28 * P}{A^{\frac{1}{2}}}$$

En donde:

- P: Perímetro de la cuenca en
- A: Área de drenaje de la cuenca

Dicho esto, se sabe que cuando K tiende a:

Ilustración 1 Tendencia a crecidas según el coeficiente de Gravelius.

Kc	FORMA DE LA CUENCA	TENDENCIA CRECIDAS
1 – 1.25	DE CASI REDONDA A OVAL REDONDA	ALTA
1.25 - 1.5	DE OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA	MEDIA
1.5 - 1.75	DE OVAL OBLONGA A RECTANGULAR	BAJA

Fuente: Guía Metodológica para los Cálculos y Obtención de los Parámetros Hidrofisiográficos.

En relación con el crecimiento de la pendiente media, varía la velocidad de la escorrentía y en función de ésta disminuye la infiltración, por lo tanto, “crece la velocidad de concentración de las aguas en el cauce y consecuentemente, crece la capacidad de erosión. Lo más común es que los caudales crezcan a medida que lo hace la longitud y la pendiente media del cauce, y se asocia con la duración de las crecidas.”⁴²

Adicionalmente, “la elevación media de la cuenca estudia la variación de la elevación de los varios terrenos con referencia al nivel medio del mar. Esta variación es indicada por medio de un gráfico que muestra el porcentaje de área de drenaje que existe por encima o por debajo de varias elevaciones.”⁴³

Del mismo modo, “la curva hipsométrica relaciona el valor de la cota, en las ordenadas, con el porcentaje de área acumulada, en las abscisas. La curva hipsométrica representa, un criterio de la variación territorial del escurrimiento

⁴² IDEAM and Pardo Ojeda. Óp. Cit.

⁴³ Monsalve Saénz. Óp. Cit.

resultante de una región, el cual, da una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas de ella.⁴⁴

Para finalizar, cabe mencionar que existen distintos métodos para la realización de análisis de cuencas hidrográficas, y que cada uno tiene sus propios requisitos para poder ser usados de manera que los resultados no sean tan lejanos a la realidad, por consiguiente, y debido tanto a las características de la zona de estudio como a la cantidad de datos que se pudieron obtener de las distintas fuentes de información, se optó por utilizar un método denominado como “el método racional”, el cual tiene una gran efectividad en estudios de cuencas hidrográficas de poco tamaño, y es recomendado por varios autores cuando la información obtenida no es lo suficientemente grande y contundente para la realización de otros métodos.⁴⁵ Este método está dado por la ecuación 3:

Ecuación 3 Calculo del Caudal por el Método Racional

$$Q = C * I * A$$

Fuente: Hidrología en la Ingeniería.

Donde:

- Q= Caudal en m³/s
- C= Coeficiente de Escorrentía
- I= Intensidad en m/s
- A= Área en m²

7.3 MARCO HISTORICO.

A lo largo de la historia de la humanidad se han presentado una gran variedad de inundaciones, por todo el globo terrestre.

En el año 1927 ocurrió lo que se conoce como la gran inundación del río Mississippi, esta es recordada como la inundación más destructiva en la historia de los Estados Unidos al haber movido aproximadamente 65,000 metros cúbicos de agua cada segundo. Durante el verano de 1926, fuertes lluvias se presenciaron en la parte central del río Mississippi, y para el día de navidad el nivel de agua del río Cumberland superaba los 17 metros. El río

⁴⁴ Monsalve Saénz. Óp. Cit.

⁴⁵ Gustavo Silva Medina, ‘Hidrología En Cuencas Pequeñas Con Información Escasa’, *Ingeniería E Investigación*, 1987, 24–30.

excedió sus niveles en 145 zonas, inundando más de 70,000 km² con una profundidad de 10 metros, ocasionando daños por \$400 millones de dólares en daños y matando a 246 personas.⁴⁶

Poco antes de las tres décadas pasadas del anterior evento, “en el año 1957 grandes diluvios los cuales causaron el flujo de 370,000 metros cúbicos de agua por segundo ocasionarían el evento que se conoce como el desbordamiento del Amazonas”⁴⁷, el desbordamiento de este río fue muy destructivo debido a que se puede decir que es el responsable del 20% de la descarga de agua dulce del planeta en los océanos, y a que sumado a su gran dimensión existen muchas construcciones de viviendas y asentamientos circundantes al río Amazonas.

Más sin embargo, el problema de las inundaciones como fue mencionado anteriormente es un problema que ha sufrido la humanidad a lo largo de la historia, que de hecho actualmente todavía se presentan eventos como estos, dentro del que cabe resaltar la reciente inundación en la en la ciudad de Houston, Texas donde más de dos millones de habitantes presenciaron el paso de Harvey, que entró por la costa de Texas como un poderoso huracán de categoría cuatro, y llegó el 26 de agosto del 2017 ya degradado en tormenta tropical, pero desde entonces no ha dejado de llover constantemente como nunca se ha visto. “Se calcula que hubo más de 630 milímetros la lluvia caída en tan solo 24 horas, más de la mitad del registro habitual de un año, lo que ha dejado ya autopistas, avenidas principales y barrios enteros cubiertos por las aguas.”⁴⁸

Del mismo modo, los desastres por inundaciones “desde el año 1970 hasta el año 2000 han tenido un costo para Colombia del 2,2% del PIB (US \$2.000 millones del año 2000) (ONU, BID y CEPAL, 2007). El evento generado por las temporadas de lluvias desde abril de 2010 hasta diciembre de 2011, tuvo

⁴⁶ ‘Las 5 Inundaciones Más Grandes de La Historia | Alerta Catastrofes’ <<http://www.alertacatastrofes.com/5-inundaciones-mas-grandes-historia/>> [accessed 10 September 2017].

⁴⁷ ‘Las 5 Inundaciones Más Grandes de La Historia | Alerta Catastrofes’. Óp. Cit.

⁴⁸ Ana Maria Alarcon, ‘Houston No Sale de Su Sorpresa Por La Peor Inundación de Su Historia | Noticias de Internacional En Herald.es’ <<http://www.heraldo.es/noticias/internacional/2017/08/29/houston-no-sale-sorpresa-por-peor-inundacion-historia-1193998-306.html>> [accessed 11 September 2017].

repercusiones dejando 5'208.504 personas afectadas y 683 muertos; daños en 1.027 municipios y en 28 de 32 departamentos, incluido el Distrito Capital (Semana.com, 2011)."⁴⁹ Este último evento, ha sido el más crítico en la historia por los daños, ya que casi duplica las pérdidas acumuladas por inundaciones desde el año 1970 hasta el 2000. Este desastre se debió a una suma de factores, en su mayoría de carácter antrópico.

Igualmente, como precedentes de inundaciones presentadas en la ciudad de Bogotá, se tienen referencias de distintas épocas, aunque una de las más actuales ocurrió el presente año en el 16 de mayo, donde las fuertes precipitaciones ocurridas en ese día y el fin de semana correspondiente, ocasionaron fuertes inundaciones en varios sectores de la ciudad, desbordando el río Tunjuelito e inundando zonas cercanas al mismo y la inundación del deprimido de la 94, este evento causó grandes daños en los bienes de los perjudicados.⁵⁰

Además, existen varias localidades de la ciudad de Bogotá donde la ocurrencia de inundaciones es mucho más frecuentes respecto a otras, una de estas localidades es la localidad de Usme, en la cual por aspectos geológicos, geográficos y sociales, hacen que la presencia de una inundación, pueda perjudicar la infraestructura de la zona y la vida de las personas que residen por allí, un hecho histórico de esto, "a finales de septiembre del año 2003 al menos 20 familias ubicadas al borde de la quebrada Santa Librada, en el barrio Santa Marta de Usme, en el sur de Bogotá, con la intervención de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado se ordenó la reubicación urgente para evitar una tragedia ante el posible derrumbe de las casas por la debilidad de los terrenos."⁵¹ Según los habitantes de la zona, la quebrada se represa con mucha frecuencia deteriorando los terrenos y debilitando los cimientos de las viviendas.

⁴⁹ Sedano Cruz Karim, Carvajal Escoar Yesid. Óp. Cit.

⁵⁰ El Tiempo, 'Inundaciones En Bogotá: Noticias, Fotos Y Videos de Inundaciones En Bogotá - ELTIEMPO.COM' <<http://www.eltiempo.com/noticias/inundaciones-en-bogota>> [accessed 10 September 2017].

⁵¹ EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA, 'Informe Quebrada Santa Librada' (Bogotá D.C., 2000), pp. 1–46.

A partir de lo anterior, se desarrollará el proyecto en la localidad quinta de Usme, ya que una de las problemáticas más evidente en el sector es el autoconstrucción de vivienda, la mala calidad de la construcción y el no construir respetando las rondas de los cuerpos de agua, originado en el sector de la ciudad altos índices de vulnerabilidad. Esta localidad se caracteriza por que se localizan únicamente los estratos 1 y 2, los cuales no cuentan con los recursos suficientes para realizar estructuras que puedan adecuarse a las necesidades y son afectadas por las constantes crecidas ocasionadas por las fuertes lluvias de las temporadas.

7.4 MARCO GEOGRÁFICO

De acuerdo a la información brindada por el Unidad Administrativa de Catastro Distrital, la cual realizó un breve resumen de “Dinámica de las construcciones por usos de la localidad de Usme en los años 2002 y 2012”, dando a conocer la descripción general de la localidad Usme como: la localización, número de lotes y usos de predios.⁵²

Para resumir, la localidad 5 Usme situada en el sur de Bogotá, limita al norte con las localidades San Cristóbal (4), Rafael Uribe (18) y Tunjuelito (6); al oriente con los municipios de Chipaque y Une; al sur con la localidad de Sumapaz (20); y al occidente con la localidad Ciudad Bolívar (19), con el Río Tunjuelo de por medio y los municipios de Pasca y Soacha.⁵³

Además, esta localidad tiene una extensión de 21.506 hectáreas (ha), de estas 2.120 (ha) corresponden a suelo urbano, 902 (ha) se clasifican como suelo de expansión urbana y las restantes 18.483 (ha) constituyen suelo rural. Usme ocupa el segundo lugar entre las localidades con mayor superficie dentro del Distrito Capital, en primer lugar, está la localidad de Sumapaz.⁵⁴

Así mismo, Usme es una de las localidades con más cuerpos de agua en la ciudad, siendo de gran importancia la quebrada Santa Librada, la cual “se

⁵² Overman, Larry E, Michael H Rabinowitz, y Paul A Renhowe. «+ 0 12». 14 (1995): 2657-2658. Print.

⁵³ *Ibíd.*

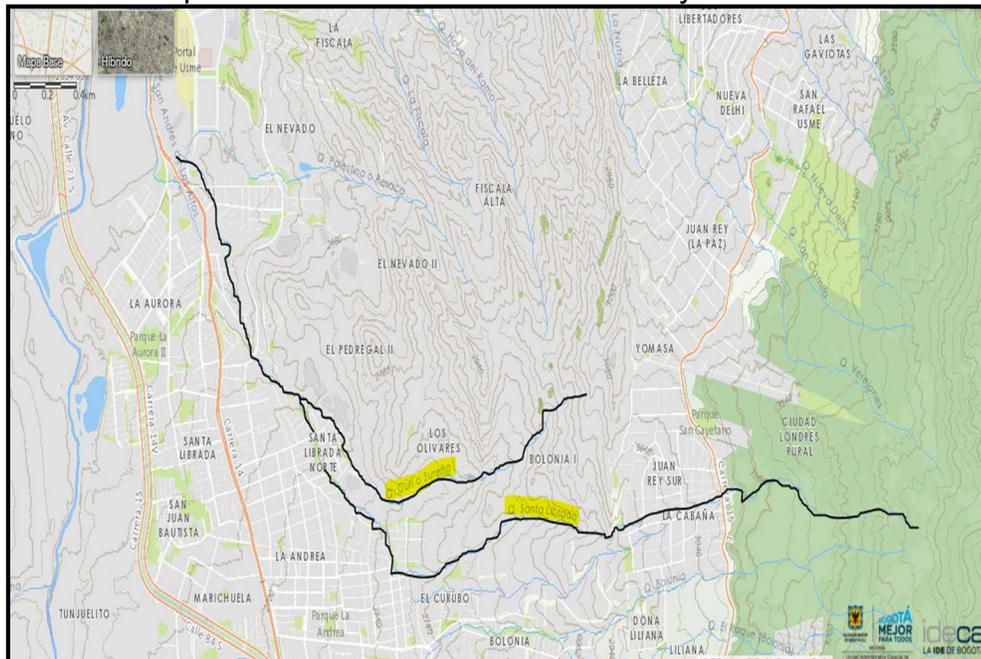
⁵⁴ Rojas, Samuel Moreno et al. «Localidad usme diagnóstico local de salud con participación social 2009-2010 enero de 2010». (2010): 1-426. Print.

encuentra ubicada en el sector suroriental del distrito capital, y nace a una altura cercana de los 3500 msnm, es una quebrada que en su parte superior posee una cobertura vegetal alta, pero presenta problemas por pérdida de cobertura vegetal en su parte media y baja, esto producto de los cultivos agrícolas.”⁵⁵

Del mismo modo, en un tramo de la cuenca media la quebrada cruza por el Parque Entre Nubes entre la cota 3000 y 2820 msnm aproximadamente, convirtiéndose así en una de las fuentes hídricas importantes para el parque.

Teniendo en cuenta las características físicas y morfológicas de la cuenca, se puede inferir una alta probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales o crecidas repentinas. Así mismo, la intervención antrópica en la parte media y baja de la cuenca, asociada con la explotación de canteras y chircales, aumenta una gran cantidad de volúmenes de sedimentos que modifican la dinámica natural del cauce principal y pueden generar obstrucción del cauce con la potencial generación de flujos y avalanchas, afectando los barrios Santa Marta, Santa Librada y San Juan de Usme.

Ilustración 2 Mapa de las Quebrada Santa Librada y Quebrada Curí



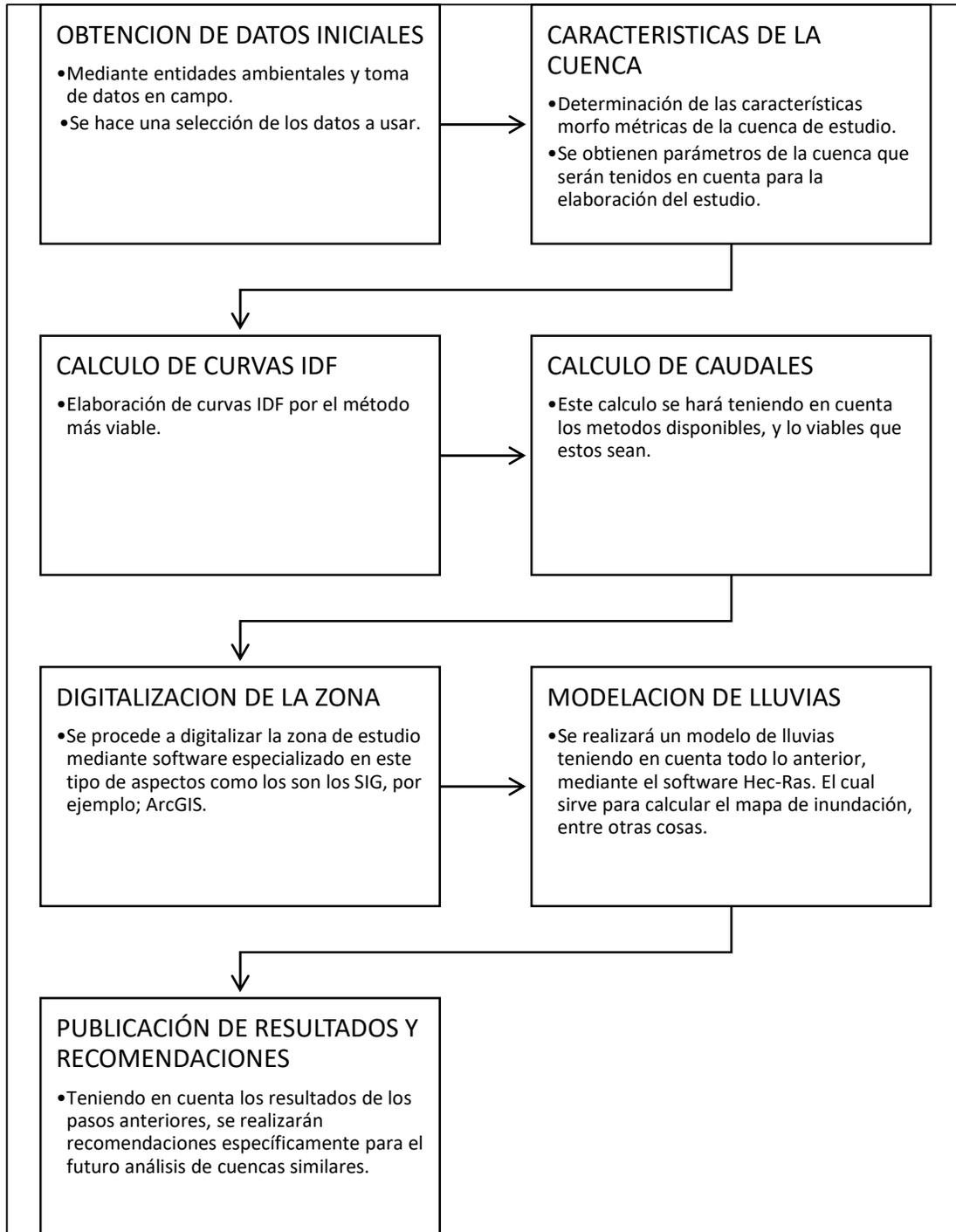
FUENTE: <http://mapas.bogota.gov.co/>

⁵⁵ EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Óp. Cit.

En la ilustración 2 se puede observar el trazo de la quebrada santa librada (línea inferior) y la quebrada Curí (línea superior), la cual desemboca en la anteriormente mencionada aumentando características hidráulicas como el caudal, volumen de sedimentos, y del mismo modo, aumentando el riesgo de un desbordamiento aguas abajo. Dicha desembocadura se da en el barrio denominado Santa Librada Norte.

8 DISEÑO METODOLOGICO

Ilustración 3 Diseño Metodológico



Fuente: Propia.

9 SITUACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para comenzar este estudio, se realizó una exploración de la zona de estudio que permitió llevar a cabo un entendimiento de la misma, teniendo en cuenta la situación ambiental y el tipo de población circundante a esta. Dicho esto, mediante una visita de reconocimiento se observaron ciertas características de la zona de estudio.

En primer lugar, el nacimiento de la quebrada Curí se da en un previo privado, por lo cual, se analizó desde el punto de egreso de este previo, este previo es una ladrillera, como se observa en la ilustración 4, la cual, en un punto más adelante tiene desagüe en esta quebrada, así mismo, por la ubicación de esta quebrada y por el relieve cercano, se presta mucho para la presencia de basura dentro del cauce, como se ve en la ilustración 6. Además, está quebrada visiblemente no posee tanto nivel de agua comparándola con la quebrada Santa Librada, más, sin embargo, como se mencionó anteriormente, su cauce en ciertos tramos esta sobrecargado de basura y objetos que pueden llegar a obstruir el flujo, y de este modo, causar un efecto de embalsamiento.

A continuación, se soporta la información anterior con el uso de imágenes fotográficas tomadas por parte de los realizadores de este estudio.

Ilustración 4 Ladrillera Tamar adjunta a la Q. Curí



Fuente: Propia.

Ilustración 5 Desagüe de la ladrillera



Fuente: Propia.

Ilustración 6 Presencia de basura en la Q. Curí



Fuente: Propia.

Contrario a la anterior, la quebrada Santa Librada está posicionada en un lugar más visible, por lo tanto, la presencia de basura es leve en su totalidad,

además, existen accesos peatonales (algunos artesanales como se ve en la ilustración 7) que permiten el paso por la quebrada.

Ilustración 7 Puente artesanal superior a la Q. Santa Librada



Fuente: Propia.

Ilustración 8 Quebrada Santa Librada



Fuente: Propia.

Ilustración 9 Presencia de obstáculos y altas velocidades en la Q. Sta. Librada



Fuente: Propia.

Comparando las ilustraciones 6 y 9, se observa que la quebrada Santa Librada tiene un flujo más continuo y sin tantos obstáculos como en la quebrada Curí.

Para finalizar, en la unión de estas dos quebradas no se encontró ningún tipo de obstáculo en el cauce. Cabe mencionar que, al momento de tomar el registro fotográfico, no había ocurrido ningún evento de precipitación en los días cercanos, por lo cual los niveles de agua se encontraban bajos, es por esto, que se esperó a que se normalizara esta situación para llevar a cabo la medición de caudales.

10 RECOLECCION DE DATOS

10.1 Petición y recolección de datos por medio de entidades

Para empezar, se realizó la petición de datos en distintas entidades con la finalidad de obtener resultados más concretos y con la menor incertidumbre posible, se investigó que entidades manejan datos pluviométricos en la zona. A partir de este parámetro, se definieron las posibles entidades que pudieran tener información útil al caso, cabe aclarar que otro parámetro importante a tener en cuenta es el tiempo de medición de datos de las estaciones, puesto que el fenómeno de ENOS como se ha mencionado anteriormente tiene una recurrencia promedio de 5 años⁵⁶, se debe de tener medidos datos con un intervalo mayor a este, y, además, que estos datos fueran lo más actuales posibles. En el anexo 1 se presenta gráficamente las ubicaciones de las estaciones encontradas respecto a la zona de estudio.

10.1.1 IDEAM

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se encontró una cantidad de 6 estaciones pluviométricas circundantes a la zona de estudio, sin embargo, se debió ignorar dos de estas estaciones, debido a que estas tuvieron una época de medición desde el año 1984 al año 1986, a pesar de esto, los datos proporcionados por las demás estaciones dan un intervalo óptimo de estudio comprendido entre los años 2004 y 2016. Con forme a lo anterior, estas cuatro estaciones se tomaron en cuenta para la elaboración de este trabajo.

10.1.2 Otras entidades

Teniendo en cuenta la información suministrada por el IDEAM, se intentó ampliar esta misma, con datos suministrados por otras entidades, como la CAR y el acueducto. Sin embargo, debido a parámetros especificados anteriormente como la ubicación, el tamaño de la cuenca de estudio y el tiempo de recolección de estos datos, no se pudo llegar a cabo la adición de información pluviométrica para este proyecto.

⁵⁶ Poveda. Óp. Cit.

10.2 Medición de datos en campo

Adicionalmente, con el fin de complementar los datos obtenidos del IDEAM, se realizó la visita a la zona de estudio, y se prosiguió a la medición del caudal mediante un caudalímetro de molino, y una medición de la altura de la lámina del agua, de la altura de la orilla y así mismo del ancho de cada quebrada, esto realizado con un nivel y una cinta métrica, para complementar la información necesaria para el modelo y la digitalización de la quebrada en ArcGIS.

Ilustración 10 Uso de nivel



Fuente: Propia.

Ilustración 11 Tubería encontrada en la Q. Sta. Librada



Fuente: Propia.

En la respectiva medición, se encontró una tubería ubicada en la quebrada Santa Librada, la cual se muestra en la ilustración 9, la cual se procedió a medir, para posteriormente ser tenida en cuenta.

Para concluir, en la tabla 1 se muestra un breve resumen de lo obtenido con la visita y la medición tanto de alturas como de coordenadas en campo.

Tabla 1 Resumen datos de campo

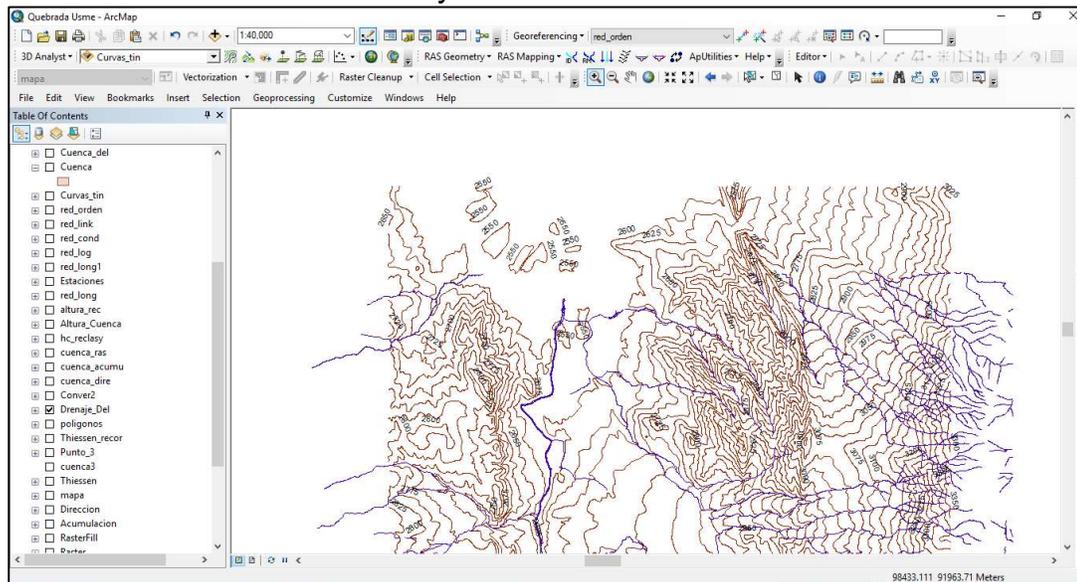
PUNTO	Altura Lamina de Agua (cm)	Altura Canal (cm)	Longitud Canal (cm)	Coordenadas	
				Oeste	Norte
Quebrada Curi					
1	35	164	120	74 06 37.6 W	04 31 00.05 N
2	35	52	44	74 06 37.6 W	04 31 00.1 N
3	2	83	150	74 06 37.6 W	04 31 00.2 N
4	4	104	97	74 06 36.8 W	04 31 00.9 N
5	8.2	101	110	74 06 37.3 W	04 31 1.5 N
6	4.5	98	114	74 06 37.3 W	04 31 1.4 N
Quebrada Santa Librada					
1	18	52	124	74 06 39.1 W	04 30 55.6 N
2	14	320	160	74 06 38.5 W	04 30 59.3 N
3	20	70	220	74 06 38 W	04 30 59.7 N
4	15	752	173	74 06 42.5 W	04 31 59.3 N
Quebrada Unida					
1	10.5	98	138	74 06 46.4 W	04 31 07.1 N

Fuente: Propia.

11 USO DE ARCGIS

En primer lugar, en la elaboración de este proyecto se implementó el uso de ArcGIS, se utilizó este software para la obtención de la cuenca de estudio, teniendo en cuenta el relieve de la zona, los cuerpos de agua presentes en la misma y todos los detalles relevantes obtenidos en la cartografía proporcionada por el IGAC. (Véase anexo 2)

Ilustración 12 Curvas de Nivel y las Redes hídricas.

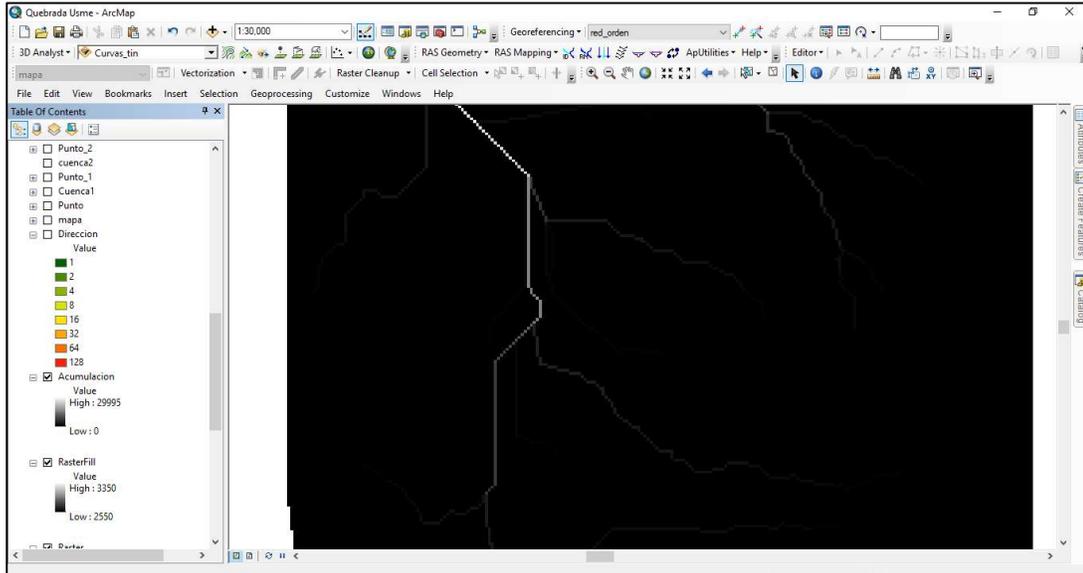


Fuente: Propia.

Además, este software por medio herramientas, es capaz de determinar la dirección de flujo de cada uno de los cuerpos de agua debidamente digitalizados.⁵⁷ Esto con el motivo de posteriormente determinar el punto de inicio de la cuenca de estudio, teniendo en cuenta las características de los cauces de la misma.

⁵⁷ ArcGIS Resource Center. Óp. Cit.

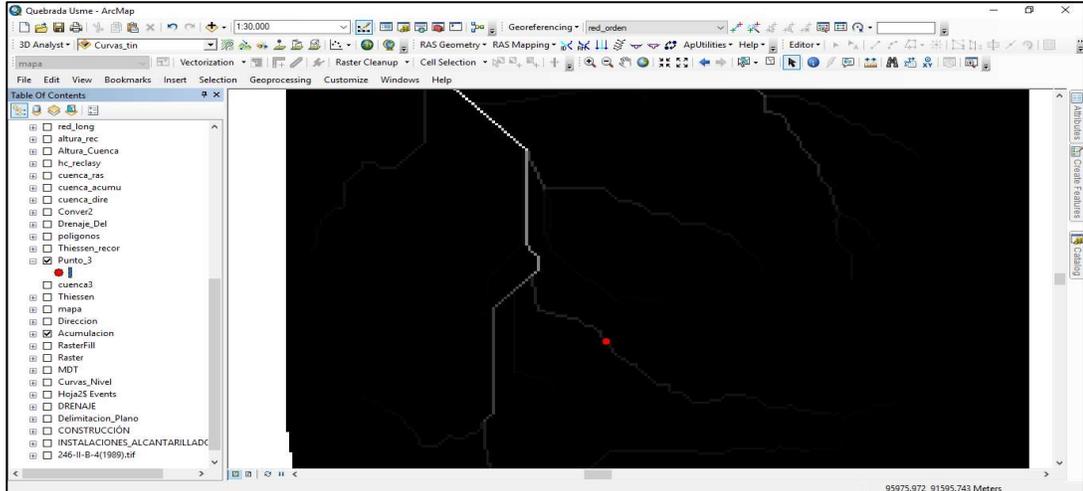
Ilustración 13 Acumulación de Flujo.



Fuente: Propia.

En la ilustración 13 se muestra como el software determina por donde pasan los cauces en la zona.

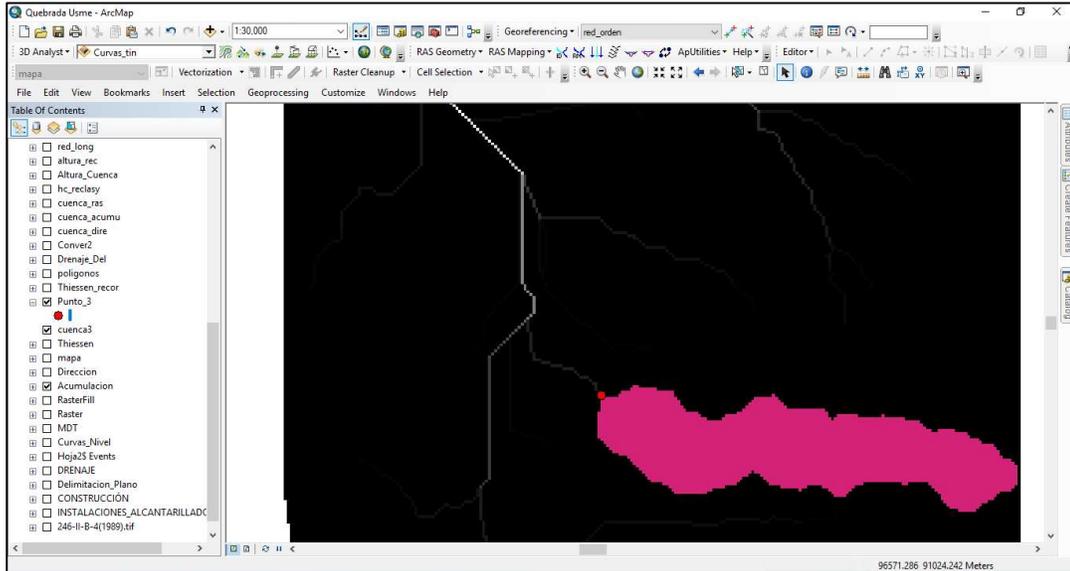
Ilustración 14 Dirección de flujo con punto indicado.



Fuente: Propia.

Como se mencionó anteriormente, en la imagen 14 se observa el punto creado para indicar el inicio del área de la cuenca. De tal modo que, realizando el debido procedimiento se obtenga el área de la cuenca de estudio.

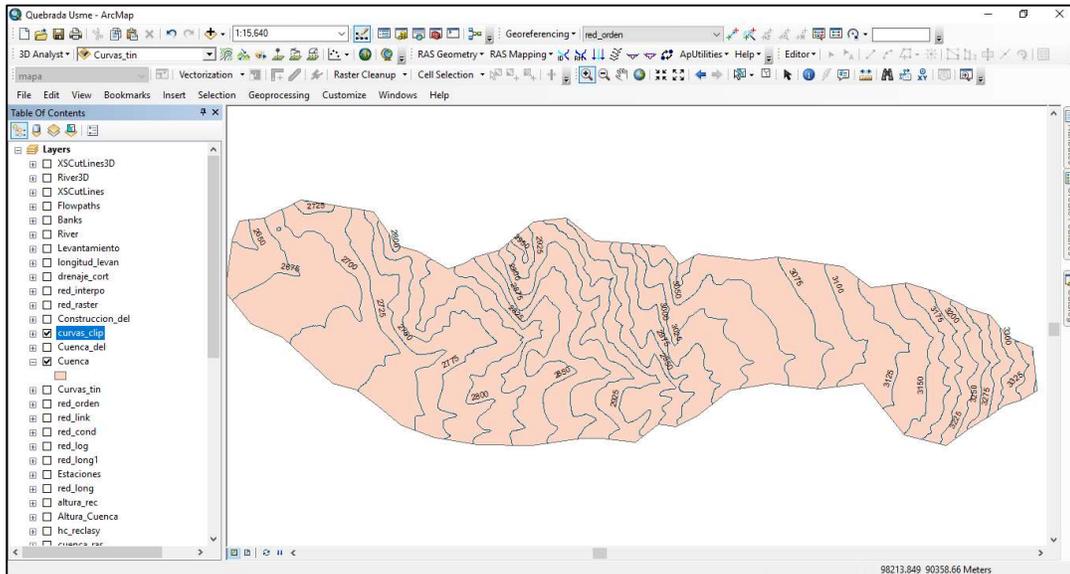
Ilustración 15 Cuenca delimitada.



Fuente: Propia.

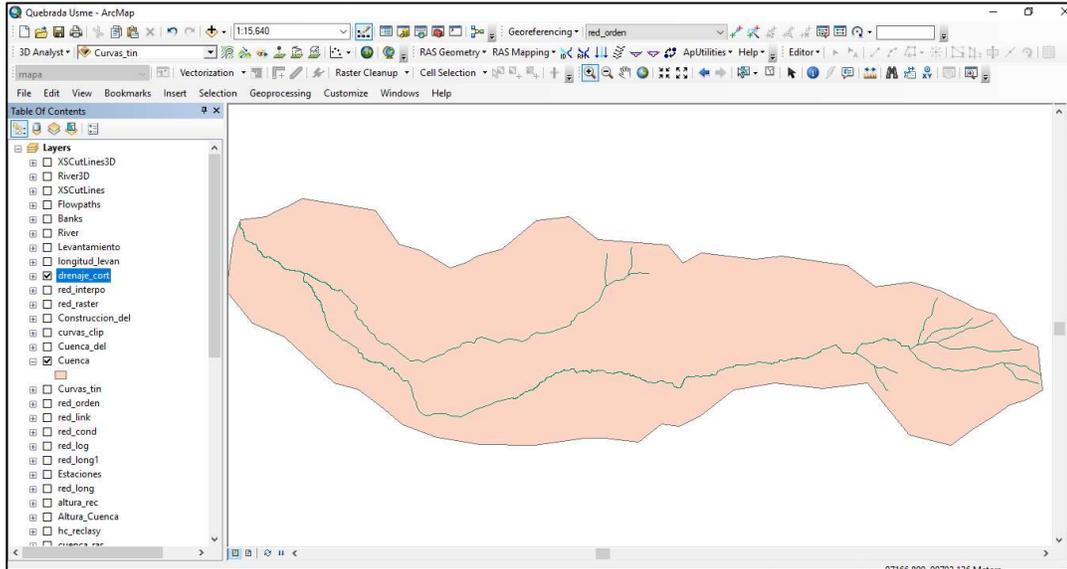
Finalmente, y para posteriores análisis, se procedió a exportar las redes hidráulicas y las cotas de nivel ubicadas dentro de la zona de estudio. De tal modo que:

Ilustración 16 Curvas de Nivel delimitadas.



Fuente: Propia.

Ilustración 17 Red Hidrográfica delimitada.



Fuente: Propia.

En la ilustración 16 se observan las curvas de nivel de la zona, las cuales fueron digitalizadas teniendo en cuenta la cartografía (Anexo 2). Así mismo, se observa en la ilustración 17 la ubicación de las quebradas Santa Librada y Curí.

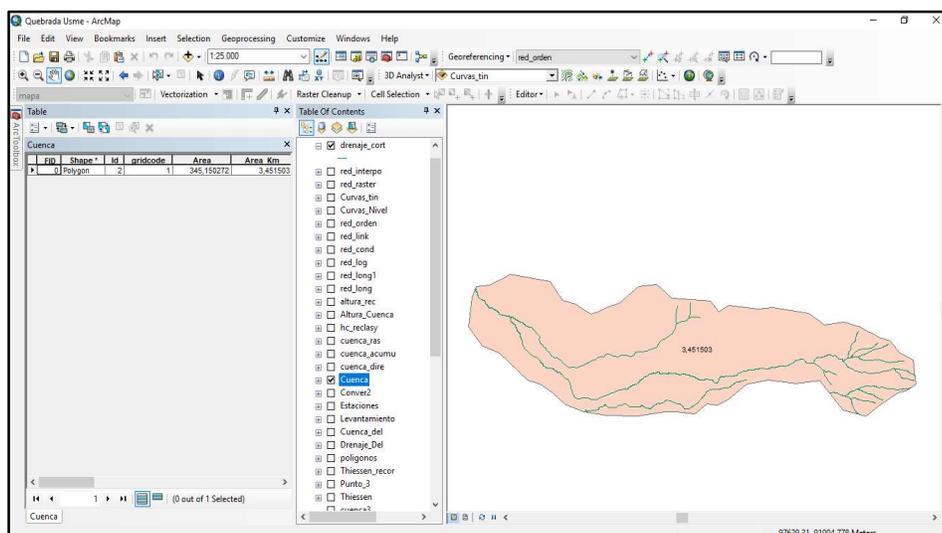
12 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

Como se mencionó anteriormente, los factores morfo geométricos son determinantes en los procesos hidrológicos y en la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca. Dicho esto, para el estudio de los parámetros geomorfológicos se implementó el uso de ArcGIS teniendo en cuenta la información cartográfica de la topografía, proporcionada por el IGAC. Para este caso, el plano para el correspondiente análisis está en escala 1:10.000. Como lo muestra el anexo 2, cartografía plancha 246-II-B-4 Bogotá D.E.

12.1 Área de la cuenca (A)

En términos generales, el área de la cuenca hidrográfica se puede considerar como criterio de la magnitud del caudal. Es decir, a medida que crece el área de la cuenca, crecen también los caudales.

Ilustración 18 Área de la Cuenca



Fuente: Propia.

Como se ve en la ilustración 18, el software ArcGIS calcula el área para la cuenca de estudio de 3.45 Km².

12.1.1 Clasificación de la cuenca

Para determinar la clasificación de una cuenca hidrográfica, se debe tener en cuenta el área que esta misma ocupa, debido a que de este parámetro depende su clasificación, para este caso, se clasifica como unidad.

Tabla 2 Clasificación de la Cuenca mediante el área

ÁREA EN KM²	NOMBRE TÉCNICO
Menor a 5	Unidad
Entre 5 y 20	Sector
Entre 20 y 100	Microcuenca
Entre 100 y 300	Subcuenca
Mayor a 300	cuenca

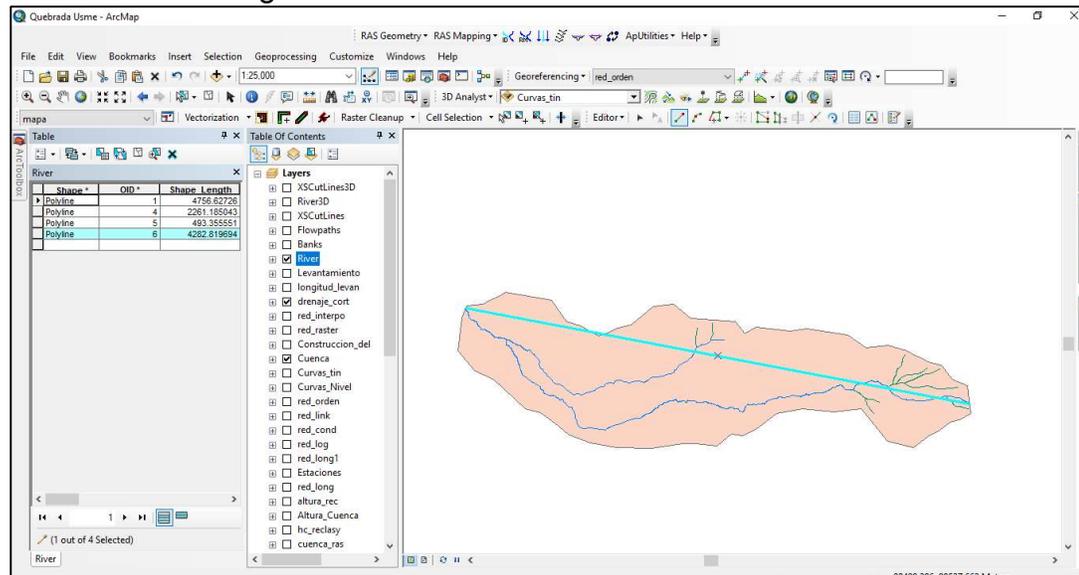
Fuente: Hidrología en la Ingeniería.

Según la tabla 2 la clasificación de la cuenca de estudio es de “unidad” dando a entender que es una zona de estudio bastante pequeña.

12.2 Longitud de la cuenca (Lc)

Este parámetro morfométrico se mide desde el nacimiento de la corriente hasta el punto medio del drenaje donde desemboca. De esta manera, se realizó el trazado y previo calculo por medio del programa ArcGIS.

Ilustración 19 Longitud de la Cuenca



Fuente: Propia.

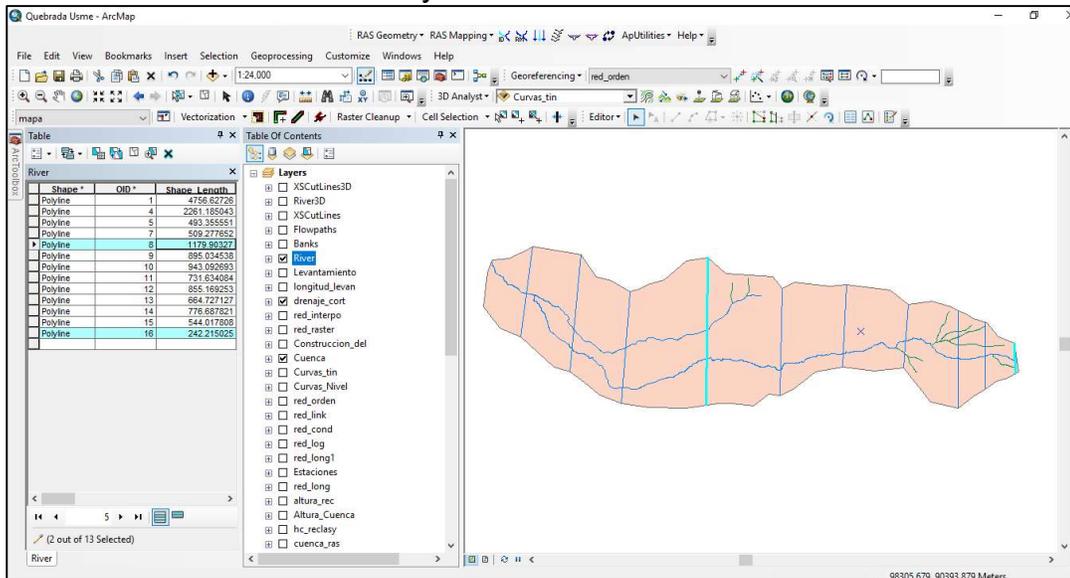
En la ilustración 19, se observa que el valor de la longitud de la cuenca es de 4.28 Km. Cabe aclarar que, a mayor longitud de la corriente se puede esperar

mayores duraciones en el tránsito de las avenidas y consecuentemente mayor atenuación de la crecida y mayor tiempo de subida.⁵⁸

12.3 Ancho medio de la cuenca (Bc)

“Este parámetro se estima con base en la forma de la cuenca y se pondera con los valores obtenidos entre el ancho Máximo (Bx) y el Mínimo (Bm) de la cuenca, o se le selecciona a criterio del analista.”⁵⁹ Este parámetro se emplea para calcular otros índices empíricos. Se realiza el trazado y previo calculo por medio del programa ArcGIS.

Ilustración 20 Ancho máximo y mínimo de la cuenca



Fuente: Propia.

Según la ilustración 20, se obtiene que:

$$B_x = 1.18 \text{ Km}$$

$$B_c \text{ Min} = 0.24 \text{ Km}$$

⁵⁸ IDEAM and Pardo Ojeda. Óp. Cit.

⁵⁹ Ibid.

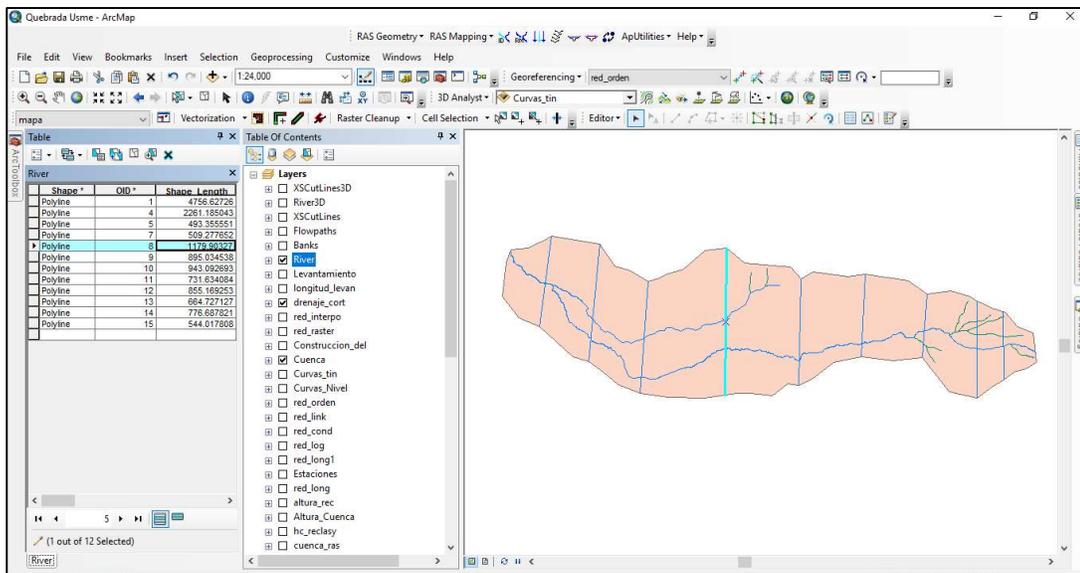
$$Bc = \frac{1.18 \text{ Km} + 0.24 \text{ Km}}{2}$$

$$Bc = 0.71 \text{ Km}$$

12.4 Ancho máximo de la cuenca (Bx)

Este parámetro se obtiene directamente de seleccionar la parte más amplia de la cuenca sobre la cartografía que se encuentre evaluando. Se realiza el trazado y previo calculo por medio del programa ArcGIS.

Ilustración 21 Ancho máximo de la cuenca



Fuente: Propia.

De acuerdo con la ilustración 21:

$$Lc = 1.18 \text{ Km}$$

12.5 Factor de forma (Ff)

Teniendo en cuenta lo calculado recientemente, y reemplazando en la ecuación 1, se obtiene un valor de factor de forma igual a:

$$Ff = \frac{Bc}{Lc}$$

$$Ff = \frac{0.71 \text{ Km}}{4.28 \text{ Km}}$$

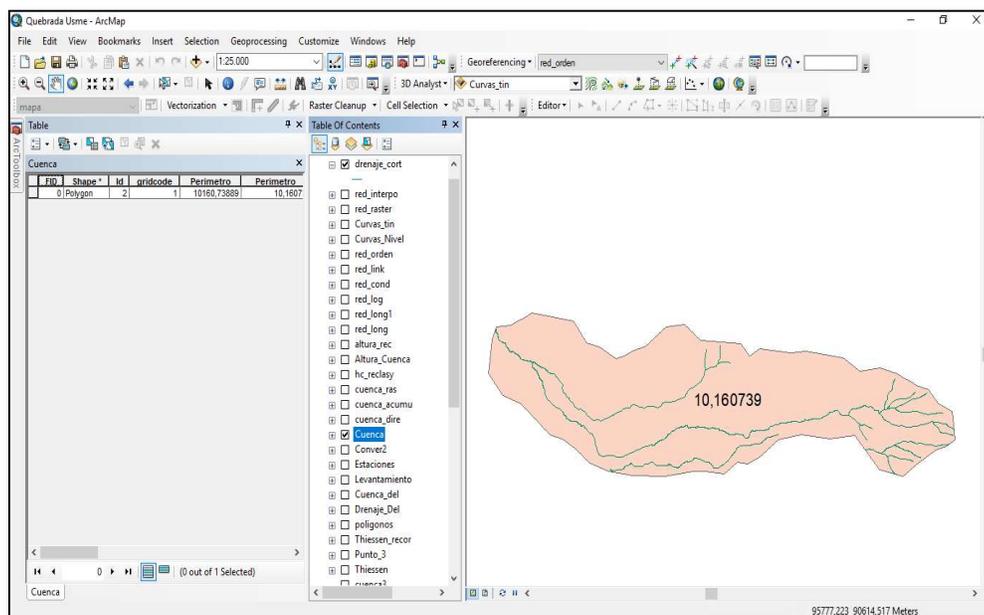
$$Ff = 0,17$$

Debido a que el factor de forma es menor a 1, y en este caso particular es tan bajo el valor, indica que efectivamente la cuenca obtiene una forma alargada.

12.6 Perímetro

De la misma manera que se calculó el área, se calcula el perímetro de la cuenca de acuerdo a la opción cálculos en la tabla de atributos, de esta manera:

Ilustración 22 Perímetro de la Cuenca



Fuente: Propia.

De esta manera, como se muestra en la ilustración 22 el perímetro de la cuenca de estudio calculado mediante ArcGIS da un total de 10.1607 Km.

12.7 Longitud de la Circunferencia (S)

Según el resultado del área de la cuenca, calculado en el capítulo 12.1, se tiene que:

$$A \text{ cuenca} = 3.45 \text{ Km}^2$$

Y, además, se sabe que el área de un círculo está dada por la expresión:

Ecuación 4 Calculo Diámetro

$$\emptyset = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

Fuente: Algebra de Baldor

Ecuación 5 Calculo de la Longitud de la Circunferencia

$$\text{Longitud de la Circunferencia} = \pi * \emptyset$$

Fuente: Algebra de Baldor

Entonces, reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 4 y 5, el diámetro de la circunferencia y la longitud de la circunferencia respectivamente son iguales a:

$$\emptyset = 2.10 \text{ Km}$$

$$\text{Longitud de la Circunferencia} = 6.59 \text{ Km}$$

12.8 Coeficiente de compacidad de Gravellius (K)

Teniendo en cuenta el área y el perímetro calculados anteriormente, y reemplazando en la ecuación 2 se obtiene que el coeficiente de Gravellius es igual a:

$$Kc = \frac{0.28 * P}{A^{\frac{1}{2}}}$$

$$Kc = \frac{0.28 * 10,16 \text{ Km}}{(3,45 \text{ Km}^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$Kc = 1,5$$

Con respecto a este dato, se puede determinar la tendencia de crecidas que la zona de estudio tiene, esto, gracias a una tabla previamente estipulada. De

tal forma que entrando en la tabla 3 (presentada a continuación) se observa que la zona de estudio tiene baja tendencia de crecidas.

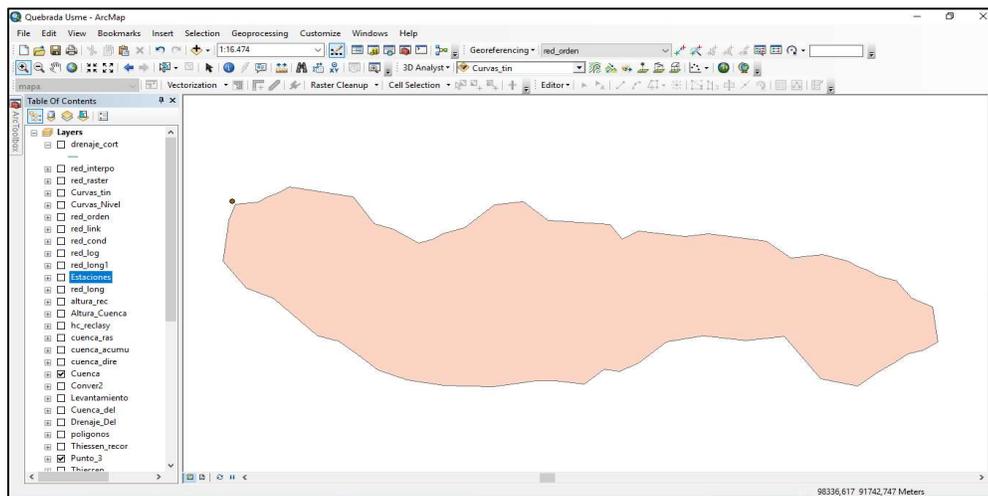
Tabla 3 Tendencia a crecidas según el coeficiente de Gravelius.

Kc	FORMA DE LA CUENCA	TENDENCIA CRECIDAS
1 – 1.25	DE CASI REDONDA A OVAL REDONDA	ALTA
1.25 - 1.5	DE OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA	MEDIA
1.5 - 1.75	DE OVAL OBLONGA A RECTANGULAR	BAJA

Fuente: Guía Metodológica para los Cálculos y Obtención de los Parámetros Hidrofisiográficos.

Del mismo modo, según la tabla 3 el resultado es una forma oval oblonga a rectangular, lo cual concuerda con lo apreciado en la cuenca delimitada por ArcGIS, como se aprecia en la ilustración 23.

Ilustración 23 Forma de la cuenca

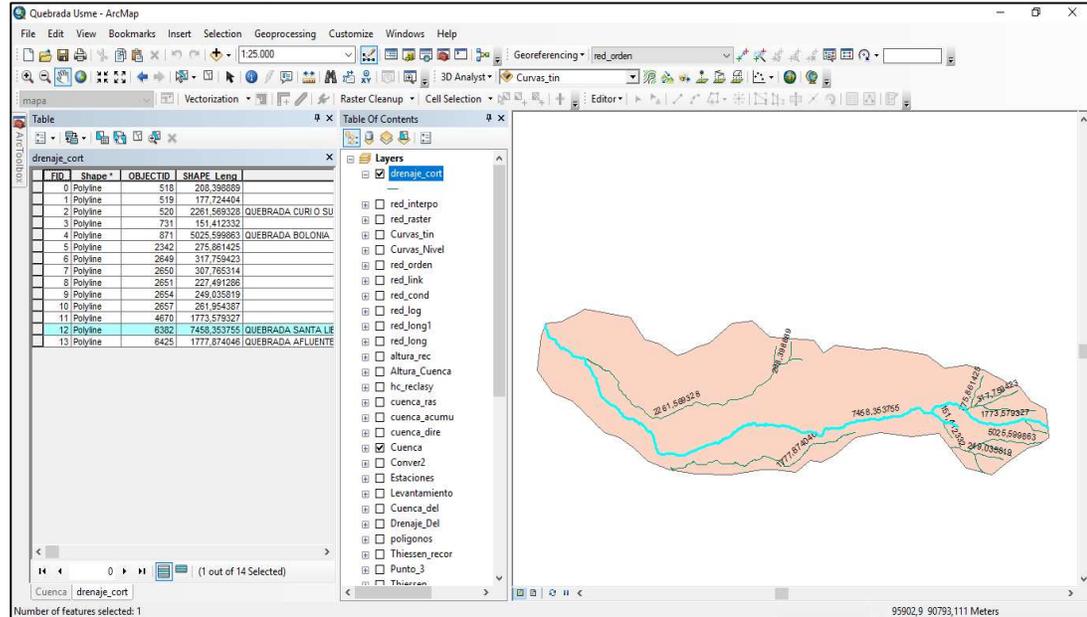


Fuente: Propia.

12.9 Longitud de la Corriente

Este parámetro fisiográfico se mide desde la parte media de la desembocadura hasta el nacimiento de la corriente, siguiendo el cauce más largo de la cuenca. De esta forma por medio del programa ArcGIS se calcula la longitud del curso seleccionado. Dando para la quebrada Santa Librada como para la Curí respectivamente:

Ilustración 24 Longitud de la Corriente de la Q. Sta. Librada

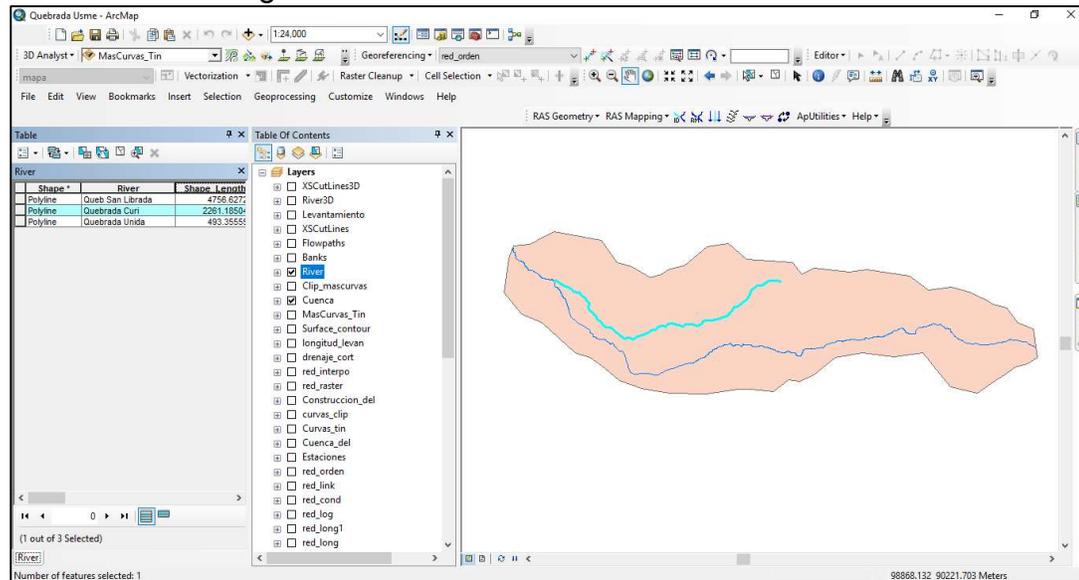


Fuente: Propia.

Según la ilustración 24, se sabe que la longitud de la quebrada santa librada es:

$$L = 7.46 \text{ Km}$$

Ilustración 25 Longitud de la Quebrada Curí



Fuente: Propia.

Del mismo modo, en la ilustración 25 se aprecia que la longitud de la quebrada Curí es de:

$$L = 2.75 \text{ Km}$$

12.10 Altura de la cabecera de la corriente (Hc)

Este parámetro corresponde la altura de la cabecera medida en metros más alta del nacimiento de la corriente en la cuenca.

Siendo así, que para la quebrada Santa Librada sea de:

$$Hc = 3350 \text{ m. s. n. m.}$$

Mientras tanto, para la quebrada Curí sea de:

$$Hc = 3020 \text{ m. s. n. m.}$$

12.11 Altura del punto de confluencia (Hp)

Esta característica fisiográfica corresponde la altura del punto de confluencia del cauce principal de la cuenca, medida en metros sobre el nivel del mar.

En la quebrada Santa Librada la altura del punto de confluencia es de:

$$Hp = 2650 \text{ m. s. n. m.}$$

Mientras que, en la quebrada Curí la altura del punto de confluencia es de:

$$Hp = 2650 \text{ m. s. n. m.}$$

12.12 Pendiente media de la corriente (Ic)

Para establecer este parámetro fisiográfico se debe conocer las alturas absolutas de la cabecera y el punto donde desemboca el río y la longitud total de la corriente.

Ecuación 6 Pendiente media

$$Ic = \frac{Hc - Hp}{L}$$

Fuente: Guía Metodológica para los Cálculos y Obtención de los Parámetros Hidrofisiográficos.

Para el caso de la quebrada Santa Librada, reemplazando en la ecuación 6 se obtiene que:

$$Ic = \frac{3350 \text{ m. s. n. m} - 2650 \text{ m. s. n. m}}{7460 \text{ m}}$$

$$Ic = 0.09385 \text{ m/m}$$

Por otro lado, para la quebrada Curí reemplazando en la ecuación 6 la pendiente media es:

$$Ic = \frac{3020 \text{ m. s. n. m} - 2650 \text{ m. s. n. m}}{2260 \text{ m}}$$

$$Ic = 0.15036 \text{ m/m}$$

Comparando estos resultados, se concluye que la quebrada Curí tiene más pendiente que la quebrada Santa Librada.

12.13 Elevación media de la Cuenca (Hm)

Otro valor geomorfológico importante de tener en cuenta es la elevación media de la cuenca.

Tabla 4 Distribución porcentual del área entre cotas

VALU E	MIN (msnm)	MAX (msnm)	MEAN (msnm)	AREA (m ²)	AREA (Km ²)	AREA ACUMULAD A (Km ²)	PORCENTAJE DE AREA (%)	PORCENTAJ E ACUMULAD O DE AREA (%)	<i>Ei * Ai</i>
1	3292	3350	3321	84600	0,0846	0,0846	0,02	2,45	280,92
2	3234	3291	3260	87300	0,0873	0,1719	0,03	4,97	284,62
3	3175	3233	3204	137700	0,1377	0,3096	0,04	8,96	441,15
4	3117	3175	3142	240300	0,2403	0,5499	0,07	15,91	755,12
5	3058	3116	3085	321300	0,3213	0,8712	0,09	25,20	991,23
6	3000	3058	3034	404100	0,4041	1,2753	0,12	36,89	1225,86
7	2942	3000	2972	249300	0,2493	1,5246	0,07	44,10	741,01
8	2883	2942	2912	344700	0,3447	1,8693	0,10	54,07	1003,67
9	2825	2883	2856	337500	0,3375	2,2068	0,10	63,84	963,99
10	2767	2825	2794	469800	0,4698	2,6766	0,14	77,43	1312,77
11	2708	2767	2736	394200	0,3942	3,0708	0,11	88,83	1078,54
12	2650	2708	2687	386100	0,3861	3,4569	0,11	100,00	1037,52
				Σ	3,46			Σ	10116,41

Fuente: Propia.

Ecuación 7 Elevación media

$$E \text{ (msnm)} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Mean} * \text{Area})}{\sum_{i=1}^n \text{Area}}$$

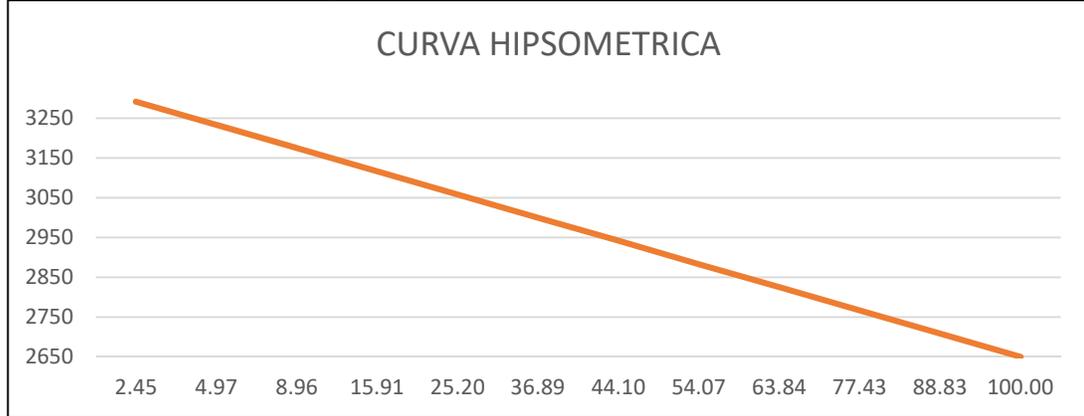
Fuente: Propia.

En donde reemplazando los valores de la tabla 5 en la ecuación 7 se obtiene que:

$$E \text{ (msnm)} = \frac{10116,41}{3,46}$$

$$E \text{ (msnm)} = 2926$$

Ilustración 26 Curva Hipsométrica de la cuenca



Fuente: Propia.

12.14 Pendiente media de la cuenca (Im)

Para determinar la pendiente media de la cuenca, es necesario aplicar la siguiente formula:

Ecuación 8 Pendiente media de la Cuenca

$$I_m = \frac{E_d * \sum L_i}{A}$$

Fuente: Guía Metodológica para los Cálculos y Obtención de los Parámetros Hidrográficos.

En donde:

- E_d = Valor de la equidistancia entre las curvas de nivel en metros.
- A = Área de la superficie de la cuenca en Km²
- $\sum L_i$ = Longitud total de las curvas de nivel de la cuenca en metros

Tabla 5 Longitudes Curvas de nivel dentro de la cuenca

FID	Shape *	SHAPE_Leng (m)	SHAPE_Leng (Km)	Cota
6	Polyline	60.77	0.06	2625
0	Polyline	12565.46	12.57	2650
1	Polyline	12551.92	12.55	2675
2	Polyline	12648.09	12.65	2700
3	Polyline	12205.40	12.21	2725
4	Polyline	699.90	0.70	2725
5	Polyline	151.80	0.15	2750
7	Polyline	12918.40	12.92	2750

Fuente: Propia.

Tabla 6 Continuación Longitudes Curvas de nivel dentro de la cuenca

FID	Shape *	SHAPE_Leng (m)	SHAPE_Leng (Km)	Cota
8	Polyline	12802.23	12.80	2775
9	Polyline	14133.52	14.13	2800
10	Polyline	323.58	0.32	2800
11	Polyline	12742.12	12.74	2825
12	Polyline	12019.61	12.02	2850
13	Polyline	11610.80	11.61	2875
14	Polyline	11382.07	11.38	2900
15	Polyline	1046.33	1.05	2925
17	Polyline	10605.41	10.61	2925
16	Polyline	418.39	0.42	2950
18	Polyline	9721.10	9.72	2950
19	Polyline	9091.87	9.09	2975
20	Polyline	8797.50	8.80	3000
21	Polyline	8014.10	8.01	3025
22	Polyline	7133.65	7.13	3050
23	Polyline	917.08	0.92	3075
24	Polyline	99.99	0.10	3075
25	Polyline	4403.90	4.40	3075
26	Polyline	4291.30	4.29	3100
27	Polyline	4045.80	4.05	3125
28	Polyline	3510.67	3.51	3150
29	Polyline	3395.26	3.40	3175
30	Polyline	3203.62	3.20	3200
31	Polyline	3074.35	3.07	3225
32	Polyline	2883.17	2.88	3250
33	Polyline	2768.70	2.77	3275
34	Polyline	1694.51	1.69	3300
35	Polyline	1389.92	1.39	3325
36	Polyline	599.54	0.60	3350
		Σ	229.92	

Fuente: Propia.

De esta manera, reemplazando en la ecuación 8, se obtiene una pendiente media de la cuenca de:

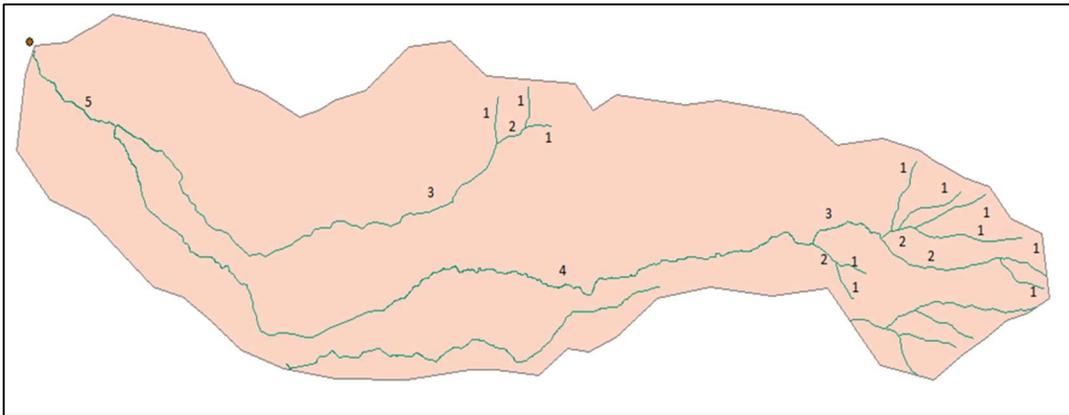
$$I_m = \frac{25 \text{ m} * 229920 \text{ m}}{3450000 \text{ m}^2}$$

$$I_m = 1.66 \frac{m}{m}$$

12.15 Orden de los Cauces

El orden de los cauces representa el grado de ramificación o bifurcación dentro de la cuenca de estudio. De tal como que:

Ilustración 27 Orden de los Cauces



Fuente: Propia.

12.16 Longitud total de cauces (L)

Corresponde al total en Kilómetros de cauces identificados en la cuenca incluyendo al cauce principal

Ecuación 9 Longitud total de Cauces

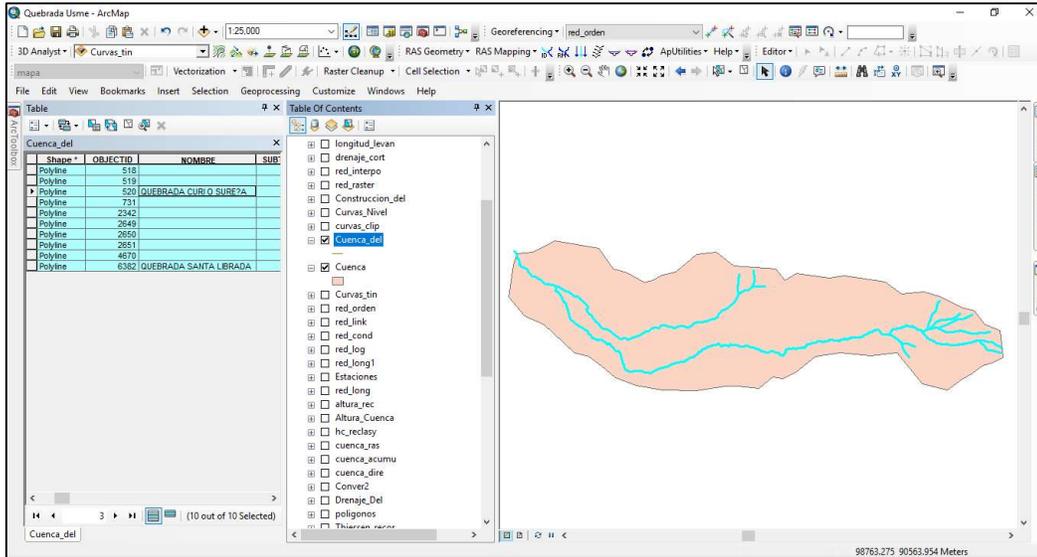
$$L = \sum L$$

Fuente: Guía Metodológica para los Cálculos y Obtención de los Parámetros Hidrográficos.

En donde:

- $\sum L$ = Sumatoria de todas las longitudes de las corrientes establecidas en la cuenca.

Ilustración 28. Longitud total de los cauces.



Fuente: Propia.

Tabla 7. Longitud total de los cauces dentro de la Cuenca.

OBJECTID	NOMBRE	CUENCA	SHAPE_Leng	SHAPE_Leng (Km)
518		RIO TUNJUELO	208.40	0.21
519		RIO TUNJUELO	177.72	0.18
520	QUEBRADA CURIO O SUREÑA	RIO TUNJUELO	2261.57	2.26
731		RIO TUNJUELO	151.41	0.15
2342		RIO TUNJUELO	275.86	0.28
2649		RIO TUNJUELO	317.76	0.32

Fuente: Propia.

Tabla 8 Continuación Longitud total de los cauces dentro de la Cuenca.

OBJECTID	NOMBRE	CUENCA	SHAPE_Leng	SHAPE_Leng (Km)
2650		RIO TUNJUELO	307.77	0.31
2651		RIO TUNJUELO	227.49	0.23
4670		RIO TUNJUELO	1773.58	1.77
6382	QUEBRADA SANTA LIBRADA	RIO TUNJUELO	7458.35	7.46
			Σ	13.16

Fuente: Propia.

De acuerdo con la ecuación 9, se sumaron las longitudes de los cauces, como se muestra en la tabla 8, dando como resultado una longitud total igual a:

$$L = 13.16 \text{ Km}$$

12.17 Densidad de drenaje o densidad de la red hidrográfica (Dd)

Este índice que identifica cuanto puede haber en kilómetros de drenaje hidrográfico por kilómetro cuadrado en el área total de la cuenca en estudio.

Ecuación 10 Densidad de drenaje o densidad de la red hidrográfica

$$Dd = \frac{\sum Lt}{A}$$

Fuente: Guía Metodológica para los Cálculos y Obtención de los Parámetros Hidrográficos.

En donde:

- Dd = Densidad de Drenaje en Km / Km²
- A = Área de la superficie de la cuenca en Km²
- ΣLt = Longitud total de las corrientes en Km en la cuenca, en Km.

Entonces, reemplazando en la ecuación 10 se obtiene:

$$Dd = \frac{13,16 \text{ Km}}{3,46 \text{ Km}^2}$$

$$Dd = 3,81 \frac{\text{Km}}{\text{Km}^2}$$

12.18 Numero de Afluentes en la cuenca (Af)

Este parámetro identifica el número total de corrientes que compone una cuenca.

$$Af = 13$$

12.19 Frecuencia hidrográfica (Ff)

Este índice permite comparar el número de corrientes (Afluentes) por kilómetro cuadrado (Km^2) en una cuenca hidrográfica.⁶⁰

Ecuación 11 Frecuencia hidrográfica

$$Ff = \frac{Af}{A}$$

Fuente: Guía Metodológica para los Cálculos y Obtención de los Parámetros Hidrofisiográficos

De tal manera, que reemplazando valores calculados anteriormente en la ecuación 11 se tiene:

$$Ff = \frac{13}{3,45 \text{ Km}^2}$$

$$Ff = 3,77/\text{Km}^2$$

⁶⁰ IDEAM and Pardo Ojeda. Óp. Cit.

12.20 Tiempo de concentración

Para el cálculo del tiempo de concentración, en este estudio se tomó en cuenta el método de Kirpich, donde este parámetro está dado por la expresión:

Ecuación 12 Método de Kirpich

$$T_c = 0,06628 \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,77}$$

Fuente: Kirpich Z.P.

En donde:

- L: Longitud del cauce principal en kilómetros = 7,46 Km
- S: Pendiente de la cuenca en m/m = 1.66 m/m

Entonces, reemplazando en la ecuación 12, se obtiene:

$$T_c = 0,06628 \left(\frac{7,46 \text{ Km}}{1.66^{0,5}} \right)^{0,77}$$

$$T_c = 1.508 \text{ h}$$

12.21 Tabla Resumen

Para concluir y con motivo de hacer un énfasis en las características de la zona de estudio, en la siguiente página se presenta una tabla, donde se pretende resumir los datos anteriormente calculados.

Tabla 9 Tabla resumen características geomorfológicas.

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
De la superficie		
Area de la Cuenca	<i>Ha</i>	345.15
Area de la Cuenca	<i>Km²</i>	3.45
Longitud de la Cuenca	<i>Km</i>	4.28
Ancho Maximo de la Cuenca	<i>Km</i>	1.18
Ancho Minimo de la Cuenca	<i>Km</i>	0.24
Ancho Medio de la Cuenca	<i>Km</i>	0.71
Perímetro de la Cuenca	<i>Km</i>	10.16
Diametro Circunferencia	<i>Km</i>	2.10
Longitud de la Circunferencia	<i>Km</i>	6.59
Longitud curvas de nivel en la Cuenca	<i>Km</i>	229.92
Forma		
Coeficiente de Compacidad (Kc)		1.5
Factor de forma (Kf)		0.17
De la Red Hídrica		
Longitud del curso principal Santa Librada	<i>Km</i>	7.46
Longitud del curso Quebrada Curi	<i>Km</i>	2.75
Longitud total del Cause	<i>Km</i>	13.16
Cotas		
Cota Máxima Quebrada Santa Librada	<i>msnm</i>	3350
Cota Minima Quebrada Santa Librada	<i>msnm</i>	2650
Cota Máxima Quebrada Curi	<i>msnm</i>	3020
Cota Minima Quebrada Curi	<i>msnm</i>	2650
Pendiente		
Pendiente media corriente (Ic) Quebrada Santa Librada	<i>m/m</i>	0.094
Pendiente media corriente (Ic) Quebrada Curi	<i>m/m</i>	0.164
Elevación media de la Cuenca	<i>msnm</i>	2926
Pendiente media de la Cuenca	<i>m/m</i>	1.66
Otros aspectos		
Área de lagos y lagunas	<i>Km²</i>	NO APLICA
Coeficiente de lagos y lagunas	<i>%</i>	NO APLICA
Área de cienagas y pantanos	<i>Km²</i>	NO APLICA
Coeficiente de cienagas y pantanos	<i>%</i>	NO APLICA
Cobertura de Bosques	<i>Km²</i>	NO APLICA
Coeficiente de Bosques	<i>%</i>	NO APLICA
Drenaje		
Densidad de Drenaje	<i>Km /Km²</i>	3.81
Parámetros Generados		
Numero de Afluentes	<i>#</i>	13
Frecuencia Hidrográfica	<i>/Km²</i>	3.77

Fuente: Propia.

13 CURVAS IDF

Debido al método a usar en este estudio, uno de los parámetros más importantes para el análisis de la zona de estudio es la intensidad de las precipitaciones de la zona, por esta razón, se llevó a cabo la realización de las curvas IDF, con los datos meteorológicos disponibles en las estaciones de la misma categoría en las zonas más cercanas a la zona de estudio, cuyos datos por requisitos de homogeneización de los mismos, se tomaron desde el año 2004 hasta el año 2016, estos datos meteorológicos fueron suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales o IDEAM.

Dicho esto, se obtuvieron datos de las precipitaciones totales y precipitaciones máximas en 24 horas registradas por estaciones ubicadas en las siguientes coordenadas:

Tabla 10 Coordenadas de las estaciones suministradas por el IDEAM

Estacion	Longitud	Latitud	Altitud
Colegio Santiago	7407 W	0434 N	2565 msnm
Colegio San Cayetano	7405 W	0431 N	3100 msnm
Santa Maria de Usme	7407 W	0428 N	2800 msnm
San Jorge	7411 W	0430 N	2900 msnm

Fuente: IDEAM

Antes que nada, “como en hidrología se trabaja con series continuas, se deben completar los datos faltantes”⁶¹, se realizó una homogeneización de datos entre las estaciones, esto, con la finalidad de rellenar los espacios vacíos, este proceso se lleva a cabo con la siguiente formula:

Ecuación 13 Homogeneización de datos

$$P_x = \frac{1}{n} * \left[\left(\frac{N_x}{N_1} * P_1 \right) + \left(\frac{N_x}{N_2} * P_2 \right) + \dots + \left(\frac{N_x}{N_n} * P_n \right) \right]$$

Fuente: Hidrología en la Ingeniería.

⁶¹ Monsalve Saénz. Óp. Cit.

Donde:

- P = Precipitación.
- n = Número de estaciones totales.
- N = Promedio de precipitaciones anuales omitiendo datos faltantes.

Siguiendo el proceso, se realizó la homogenización de datos para las 4 estaciones. Desde la ilustración 12 a la ilustración 19 (mostradas a continuación) se resaltan los valores que fueron determinados con la ecuación 13. De tal modo, que se muestran las precipitaciones totales y máximas en 24 horas respectivamente con los valores obtenidos en el IDEAM y los valores homogeneizados según el caso.

Tabla 11 Precipitaciones totales de la estación Col San Cayetano

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2004	31.00	76.90	86.16	260.05	148.91	253.20	95.20	163.40	100.59	210.64	125.50	43.63
2005	39.40	47.30	22.80	82.40	167.60	117.30	81.70	90.90	104.40	133.70	111.90	41.40
2006	31.45	4.92	147.10	51.30	133.90	91.20	52.90	18.00	12.20	14.80	82.27	11.12
2007	5.22	4.00	25.30	62.30	42.50	59.50	36.44	45.23	13.57	78.23	35.45	65.30
2008	10.80	14.50	35.10	70.60	20.80	60.90	60.70	80.30	53.20	90.40	12.10	85.50
2009	60.16	84.55	85.96	115.90	37.70	107.30	136.40	74.60	48.60	102.80	71.90	15.70
2010	21.60	44.90	46.80	204.70	199.10	138.40	124.20	68.00	49.80	183.80	216.10	158.30
2011	45.20	142.00	197.50	241.10	225.20	109.20	132.90	83.00	58.80	177.70	215.10	152.90
2012	74.10	69.10	149.90	167.70	92.10	110.80	150.23	136.70	62.66	264.70	102.70	96.80
2013	3.70	114.00	54.70	165.40	161.20	63.10	178.70	93.80	33.11	113.11	215.30	63.18
2014	27.00	34.20	87.30	84.40	106.40	171.30	210.20	119.40	62.50	85.80	143.80	84.32
2015	45.60	59.30	93.40	79.50	116.50	105.60	156.30	120.10	65.80	84.10	120.80	79.90
2016	3.40	46.60	108.80	157.10	110.40	92.10	129.50	126.40	75.90	86.90	165.30	34.60

Fuente: Propia.

Tabla 12 Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Colegio San Cayetano

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2004	21.20	16.06	16.17	49.00	28.39	17.41	15.20	28.60	27.98	31.76	20.69	16.63
2005	3.60	14.16	2.85	13.80	21.07	16.04	11.81	10.84	17.57	22.71	12.47	12.41
2006	2.55	2.70	8.24	10.70	7.01	9.71	7.09	2.50	2.84	4.00	9.07	1.15
2007	4.12	1.70	8.60	11.59	14.40	10.71	10.15	6.56	3.95	10.16	9.52	9.78
2008	6.80	4.50	8.70	9.40	10.60	2.80	4.60	8.50	11.60	8.00	14.90	20.40
2009	15.96	33.16	19.92	42.00	13.60	22.80	27.00	10.00	8.00	23.50	23.70	11.00
2010	21.00	17.50	17.50	41.00	42.20	36.10	26.00	13.10	8.00	60.00	47.00	31.80
2011	16.40	47.50	39.00	29.40	37.80	17.20	24.30	11.80	12.50	25.50	28.50	25.90
2012	19.10	17.20	22.00	29.00	13.00	18.40	24.74	17.70	15.74	49.80	32.30	21.60
2013	3.30	56.40	8.20	35.70	32.20	16.10	25.20	13.00	15.50	16.26	42.35	20.71
2014	17.90	29.20	35.30	14.00	33.30	35.90	40.60	18.30	12.80	25.00	24.20	15.74
2015	18.70	32.50	28.30	35.20	40.00	26.60	25.10	12.40	10.30	42.80	37.80	28.90
2016	1.10	19.30	38.10	55.00	24.70	14.10	15.30	21.90	18.80	25.00	29.90	7.60

Fuente: Propia.

Tabla 13 Precipitaciones totales de la estación Col Santiago

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2004	7.10	1.00	3.00	100.97	1.93	44.59	46.60	45.60	59.20	94.41	33.94	18.51
2005	7.62	18.36	12.77	45.00	73.58	56.40	33.45	27.48	47.08	21.20	48.09	10.69
2006	18.40	26.76	123.10	84.30	120.90	63.30	44.72	32.90	31.85	53.00	67.31	28.46
2007	12.72	9.71	7.80	65.75	38.00	59.31	56.80	29.56	15.62	73.70	10.70	38.49
2008	10.10	25.80	47.87	98.61	84.81	91.90	70.12	90.45	50.22	52.30	59.15	105.14
2009	19.01	30.80	48.80	75.70	53.62	82.30	70.28	10.60	30.76	51.90	40.51	22.18
2010	46.40	53.80	91.90	110.40	105.90	119.70	44.50	53.80	156.30	190.50	191.90	46.90
2011	68.80	65.90	131.50	208.10	151.00	44.50	55.20	64.20	25.90	170.90	177.50	128.10
2012	66.40	62.20	115.40	60.20	31.70	42.10	31.10	51.00	16.10	107.60	33.60	84.80
2013	79.60	79.60	66.70	165.20	88.20	41.00	53.90	51.50	27.20	43.60	90.80	47.40
2014	40.60	65.20	46.40	74.10	62.30	59.20	32.50	22.70	34.40	107.40	98.00	95.10
2015	20.30	8.00	66.90	68.10	20.30	72.20	68.80	25.90	10.90	46.20	33.70	1.70
2016	2.90	131.50	5.40	79.60	55.60	54.80	119.00	46.90	29.90	103.30	105.90	87.10

Fuente: Propia.

Tabla 14 Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Col Santiago

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2004	4.77	1.00		12.18	6.82	10.11	7.30	13.40	13.50	15.01	11.88	10.26
2005	7.08	9.75	18.98	14.00	15.22	15.00	15.60	11.07	6.24	15.00	19.03	17.41
2006	2.35	30.78	24.53	35.45	33.20	30.50	19.46	33.20	15.62	11.80	21.70	47.24
2007	11.33	16.70	4.00	17.00	22.40	23.40	25.00	8.06	9.41	25.00	3.30	2.42
2008	6.17	14.98	11.49	30.98	20.86	14.00	17.62	7.37	10.33	17.20	24.23	9.89
2009	14.75	14.00	23.93	14.00	22.45	35.00	17.04	3.00	11.93	35.00	29.63	19.70
2010	11.60	12.90	23.30	10.20	19.50	31.50	17.70	13.20	28.90	39.00	38.90	39.00
2011	20.80	18.20	22.60	31.00	41.00	22.40	17.40	20.40	10.70	25.40	19.50	24.50
2012	21.50	16.80	19.80	15.60	6.60	7.70	9.50	10.90	3.80	22.10	10.50	24.40
2013	8.20	23.30	29.50	50.10	14.80	19.50	14.50	36.00	5.60	10.00	19.50	16.00
2014	19.00	21.00	8.50	10.20	15.50	10.30	10.00	8.50	9.50	27.50	31.00	25.50
2015	7.20	4.50	15.50	32.00	4.50	15.80	16.20	7.40	3.60	15.50	8.50	19.50
2016	15.30	13.40	18.00	21.00	17.00	14.10	15.60	18.60	4.60	12.30	11.80	21.20

Fuente: Propia.

Tabla 15 Precipitaciones totales de la estación Sta. María de Usme

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2004	5.91	13.08	15.44	88.90	49.05	27.40	52.60	51.40	26.80	51.00	41.80	12.30
2005	4.30	12.10	2.00	143.20	117.40	37.80	39.20	20.40	67.80	86.60	38.80	7.20
2006	24.80	3.20	95.90	120.30	79.80	106.60	52.34	53.70	26.30	124.60	87.80	5.40
2007	4.90	24.20	27.90	69.20	29.90	68.80	20.70	49.70	17.50	73.40	39.00	75.80
2008	3.80	45.90	29.90	79.40	186.50	96.00	66.90	75.00	55.20	81.80	99.20	82.10
2009	29.60	41.80	52.10	83.40	35.40	57.40	82.70	45.80	34.20	75.90	33.60	2.60
2010	20.50	31.60	35.20	234.90	128.70	81.80	98.70	28.20	38.00	89.90	112.80	85.20
2011	28.30	69.90	127.90	206.90	119.50	85.60	77.30	37.20	49.80	122.40	155.30	111.60
2012	53.90	45.80	108.50	155.50	54.10	56.90	101.60	69.90	37.50	118.80	49.60	56.10
2013	0.70	73.30	35.00	63.30	92.30	35.70	103.10	58.80	18.50	63.20	120.30	35.30
2014	12.50	20.00	24.50	60.70	79.70	140.30	90.10	49.20	28.90	56.20	57.60	45.40
2015	10.80	29.70	55.00	35.40	45.60	132.70	77.80	45.70	42.70	20.50	40.10	7.60
2016	7.30	34.60	46.20	75.00	115.50	39.30	48.10	91.40	45.20	36.30	79.00	32.60

Fuente: Propia.

Tabla 16 Precipitaciones máximas en 24 horas en la estación Sta. María de Usme

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2004	6.54	8.65	8.70	31.00	15.28	6.30	10.00	5.70	10.60	13.00	10.00	6.70
2005	0.70	5.00	2.00	18.00	14.80	12.80	11.10	7.80	17.70	16.70	7.10	2.60
2006	14.30	1.30	14.60	19.00	19.50	29.20	21.32	10.70	8.00	39.40	32.20	1.50
2007	3.80	13.80	9.70	16.20	10.50	10.90	8.90	9.60	6.30	13.50	14.40	14.30
2008	0.80	13.30	14.00	30.20	28.70	18.30	16.90	21.70	13.80	17.60	14.70	30.90
2009	7.60	20.70	13.70	29.30	13.70	9.90	19.20	8.50	7.80	20.50	15.00	0.60
2010	0.60	12.00	11.80	40.50	33.40	23.20	20.50	10.60	9.90	21.60	28.20	15.80
2011	13.70	24.30	21.10	21.30	19.70	23.50	17.50	9.20	17.20	21.20	27.90	27.40
2012	12.40	11.60	19.30	26.20	11.00	13.50	18.30	12.90	10.30	21.00	14.60	17.50
2013	0.60	34.60	7.70	19.80	16.00	14.30	17.30	18.40	13.60	13.10	33.60	14.60
2014	9.30	17.00	11.70	14.90	20.70	24.90	19.70	9.50	5.10	11.50	8.40	8.10
2015	6.80	9.80	17.60	4.80	11.40	18.20	13.00	14.10	22.70	6.90	13.10	2.90
2016	3.80	13.50	9.90	17.30	19.40	8.30	14.00	21.80	8.80	12.80	21.50	10.60

Fuente: Propia.

Tabla 17 Precipitaciones Totales en la estación San Jorge

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2004	3.00	47.30	53.00	153.90	91.60	137.30	60.90	48.70	73.70	163.90	122.60	30.70
2005	12.90	56.30	11.07	87.90	186.10	71.40	50.10	47.50	63.20	148.60	50.50	57.60
2006	37.20	6.50	144.40	133.50	82.00	85.75	52.00	26.10	27.60	123.40	74.50	16.50
2007	11.00	12.30	64.10	117.40	45.40	110.90	58.10	82.90	20.40	168.20	64.90	112.70
2008	13.50	92.00	83.30	82.20	193.60	152.00	72.30	127.75	49.40	133.20	76.34	104.50
2009	40.90	57.30	49.19	71.05	18.60	45.10	82.50	45.20	26.80	59.05	36.43	10.46
2010	71.05	71.05	71.05	71.05	71.05	71.05	71.05	20.90	124.40	84.00	169.70	72.90
2011	50.40	64.60	117.00	163.20	111.90	88.80	57.50	38.00	40.49	166.10	210.10	106.20
2012	30.70	33.80	105.29	161.70	45.52	46.70	71.10	65.96	26.51	126.17	46.82	67.79
2013	22.64	66.40	53.80	63.50	75.20	35.60	64.10	59.90	27.70	33.20	107.70	49.30
2014	45.40	36.40	50.80	51.90	64.80	81.60	58.00	33.70	29.60	67.50	109.30	60.70
2015	8.20	9.67	25.87	22.34	17.99	38.66	33.75	11.50	14.20	42.70	26.60	1.50
2016	27.70	103.00	69.70	99.30	61.60	87.80	125.00	140.50	55.40	64.10	126.30	42.70

Fuente: Propia.

Tabla 18 Precipitaciones máximas en 24 horas en la estación San Jorge

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2004	3.00	15.50	15.60	39.00	27.40	22.30	10.00	7.60	35.00	38.00	22.00	15.50
2005	3.50	23.50	3.16	13.40	23.36	17.50	5.50	12.20	24.00	24.00	10.40	19.00
2006	6.40	3.10	39.00	20.00	20.00	25.75	18.80	7.00	8.00	20.50	19.70	4.80
2007	11.00	4.50	26.20	22.50	15.70	27.00	19.20	16.00	3.50	20.80	16.80	18.00
2008	3.40	40.50	19.20	22.70	42.40	32.90	18.80	30.94	13.00	22.40	20.96	47.20
2009	12.10	21.00	11.55	24.53	8.00	8.50	17.50	6.00	8.80	15.46	13.20	3.44
2010	8.11	13.49	13.37	38.84	35.13	26.91	21.60	8.10	23.80	23.10	44.50	11.70
2011	20.50	23.40	34.70	31.50	25.10	35.00	21.00	16.00	17.21	23.30	42.50	13.60
2012	7.30	9.50	12.80	24.00	7.41	8.20	10.70	9.30	7.82	20.36	13.58	12.02
2013	1.49	37.75	14.40	25.60	17.00	14.00	13.60	25.50	8.60	10.20	27.10	15.10
2014	18.50	19.70	12.50	11.00	26.70	15.50	15.50	10.10	11.00	15.30	27.00	10.05
2015	3.67	5.29	9.51	2.59	6.16	9.83	7.02	3.70	5.70	12.00	9.40	1.00
2016	25.20	36.00	24.07	20.00	12.20	24.00	29.00	22.00	13.90	10.60	13.30	12.30

Fuente: Propia.

Teniendo en cuenta todos los valores de las tablas 11 a 18, se procedió a realizar un promedio de las mismas, con el fin de obtener un valor más global en la zona, de tal modo que:

Tabla 19 Promedio de precipitaciones totales

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2004	11.75	34.57	39.40	150.96	72.87	115.62	63.83	77.28	65.07	129.99	80.96	26.28
2005	16.06	33.51	12.16	89.63	136.17	70.73	51.11	46.57	70.62	97.53	62.32	29.22
2006	27.96	10.35	127.63	97.35	104.15	86.71	50.49	32.68	24.49	78.95	77.97	15.37
2007	8.46	12.55	31.28	78.66	38.95	74.63	43.01	51.85	16.77	98.38	37.51	73.07
2008	9.55	44.55	49.04	82.70	121.43	100.20	67.51	93.38	52.01	89.43	61.70	94.31
2009	37.42	53.61	59.01	86.51	36.33	73.03	92.97	44.05	35.09	72.41	45.61	12.73
2010	19.39	42.76	53.19	191.84	146.65	110.43	93.40	42.73	92.13	137.05	172.63	90.83
2011	48.18	85.60	143.48	204.83	151.90	82.03	80.73	55.60	43.75	159.28	189.50	124.70
2012	56.28	52.73	119.77	136.28	55.85	64.13	88.51	80.89	35.69	154.32	58.18	76.37
2013	26.66	83.32	52.55	114.35	104.23	43.85	99.95	66.00	26.63	63.28	133.53	48.79
2014	31.38	38.95	52.25	67.78	78.30	113.10	97.70	56.25	38.85	79.23	102.18	71.38
2015	21.22	26.67	60.29	51.34	50.10	87.29	84.16	50.80	33.40	48.38	55.30	22.68
2016	10.33	78.93	57.53	102.75	85.78	68.50	105.40	101.30	51.60	72.65	119.13	49.25

Fuente: Propia.

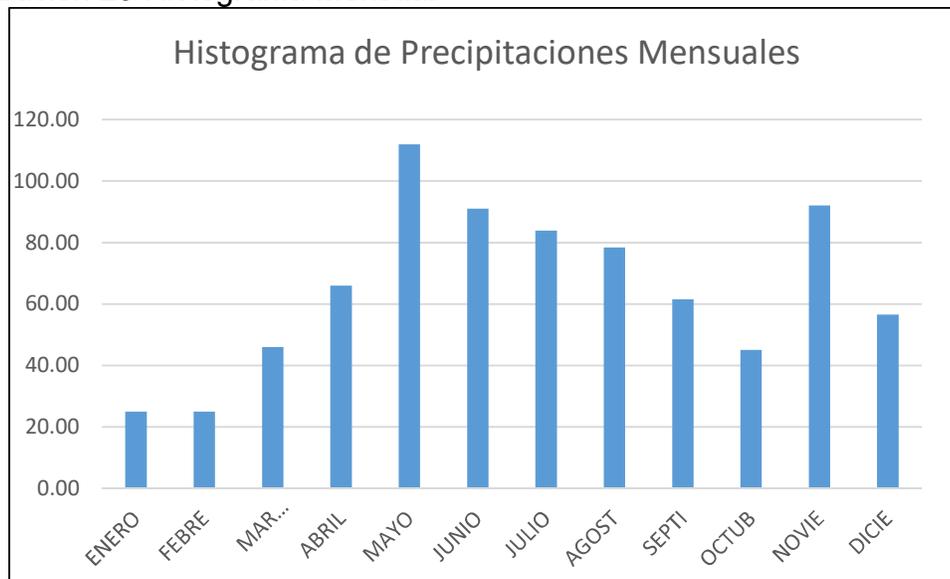
Tabla 20 Promedio de precipitaciones máximas en 24 horas

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2004	8.88	10.30	13.49	32.80	19.48	14.03	10.63	13.83	21.77	24.44	16.14	12.27
2005	3.72	13.10	6.75	14.80	18.62	15.34	11.00	10.48	16.38	19.60	12.25	12.86
2006	6.40	9.47	21.59	21.29	19.93	23.79	16.67	13.35	8.61	18.93	20.67	13.67
2007	7.56	9.18	12.13	16.82	15.75	18.00	15.81	10.06	5.79	17.37	11.00	11.12
2008	4.29	18.32	13.35	23.32	25.64	17.00	14.48	17.13	12.18	16.30	18.70	27.10
2009	12.60	22.21	17.28	27.46	14.44	19.05	20.18	6.88	9.13	23.61	20.38	8.69
2010	10.33	13.97	16.49	32.63	32.56	29.43	21.45	11.25	17.65	35.93	39.65	24.58
2011	17.85	28.35	29.35	28.30	30.90	24.53	20.05	14.35	14.40	23.85	29.60	22.85
2012	15.08	13.78	18.48	23.70	9.50	11.95	15.81	12.70	9.42	28.31	17.74	18.88
2013	3.40	38.01	14.95	32.80	20.00	15.98	17.65	23.23	10.82	12.39	30.64	16.60
2014	16.18	21.73	17.00	12.53	24.05	21.65	21.45	11.60	9.60	19.83	22.65	14.85
2015	9.09	13.02	17.73	18.65	15.51	17.61	15.33	9.40	10.58	19.30	17.20	13.08
2016	11.35	20.55	22.52	28.33	18.33	15.13	18.48	21.08	11.53	15.18	19.13	12.93

Fuente: Propia.

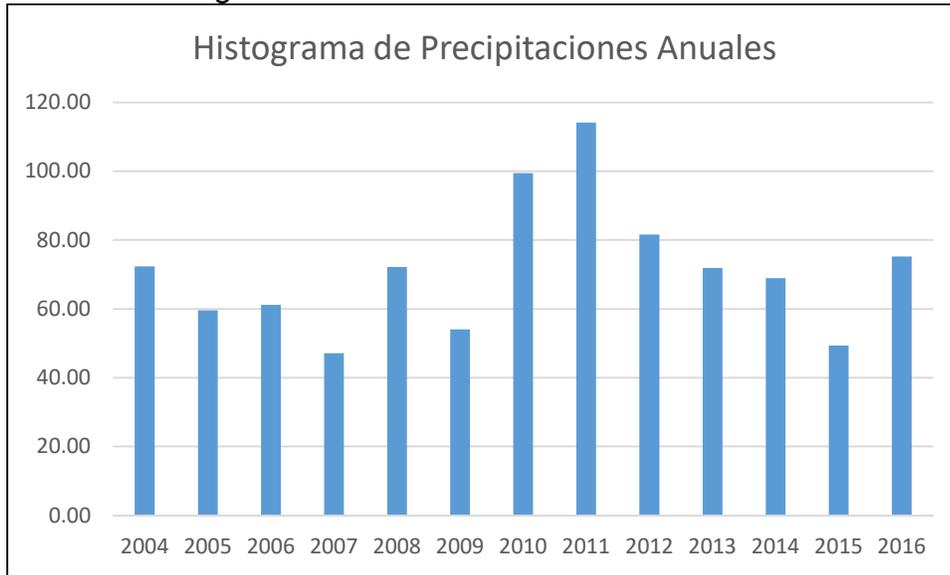
Respecto al promedio de las precipitaciones totales mostrados en la tabla 19, se realizaron dos histogramas, uno con el fin de hacer notar cual es el mes que presenta más precipitaciones, y el segundo para determinar en qué años actúa el fenómeno de ENOS.

Ilustración 29 Histograma Mensual



Fuente: Propia.

Ilustración 30 Histograma Anual



Fuente: Propia.

De tal modo, que en la ilustración 29 se aprecia que el mes con más precipitaciones es mayo, y de la misma manera, en la ilustración 30 se observa que en el año 2011 presenta un pico de precipitaciones por el fenómeno de la niña.

Consecuentemente, se realizaron las curvas IDF para cada una de las estaciones y del mismo modo para el promedio de las mismas, cabe resaltar, que el procedimiento usado para la construcción de estas curvas fue el método de Gumbell, esto debido a que, una de las características esenciales de este método es que “se utiliza para el estudio de los valores extremos. Por ejemplo, si hemos elegido el día más caudaloso o de mayor precipitación”⁶², lo cual es el objeto de este estudio, a continuación, se muestra el proceso para la estación denominada “Colegio San Cayetano”, seguido del resultado de cada una de las curvas.

⁶² Javier Sanchez, ‘Distribuciones Estadísticas’, 2008, 1–12.

Tabla 21 Parámetros iniciales de construcción curva IDF

No	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1	2004	ABRIL	49.0	93.53
2	2005	OCTUB	22.7	276.19
3	2006	ABRIL	10.7	819.79
4	2007	MAYO	14.4	621.61
5	2008	DICIE	20.4	358.42
6	2009	ABRIL	42.0	7.12
7	2010	OCTUB	60.0	427.17
8	2011	FEBRE	47.5	66.72
9	2012	OCTUB	49.8	109.58
10	2013	FEBRE	56.4	291.32
11	2014	JULIO	40.6	1.61
12	2015	OCTUB	42.8	12.03
13	2016	ABRIL	55.0	245.49
Suma			511.3	3330.55

Fuente: Propia.

En la tabla 21 se muestran los 13 años obtenidos en la petición de datos, junto con el mes en el cual se dio la máxima precipitación diaria y el valor de la misma. Teniendo en cuenta esto, se procede a calcular valores necesarios para la futura construcción de las curvas IDF.

Ecuación 14 Promedio Aritmético de precipitaciones máximas diurnas

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 39.33 \text{ mm}$$

Fuente: Distribuciones estadísticas, Javier Sánchez.

Ecuación 15 Desviación Estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 16.66 \text{ mm}$$

Fuente: Distribuciones estadísticas, Javier Sánchez.

Ecuación 16 Coeficientes para determinación de IDF por método de Gumbell

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 12.99 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 31.83 \text{ mm}$$

Fuente: Distribuciones estadísticas, Javier Sánchez.

Consecuentemente a los datos anteriores, se proceden a utilizar para el modelo de probabilidad de Gumbell, el cual se describe con la siguiente formula:

Ecuación 17 Modelo de Gumbell

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Fuente: Distribuciones estadísticas, Javier Sánchez.

Tabla 22 Cálculo de las láminas para distintas frecuencias

<i>Periodo</i>	<i>Variable</i>	<i>Precip.</i>	<i>Prob. de</i>	<i>Corrección</i>
<i>Retorno</i>	<i>Reducida</i>	<i>(mm)</i>	<i>ocurrencia</i>	<i>intervalo fijo</i>
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
5	1.4999	51.3180	0.8000	57.9893
10	2.2504	61.0657	0.9000	69.0042
15	2.6738	66.5653	0.9333	75.2187
20	2.9702	70.4159	0.9500	79.5700
25	3.1985	73.3819	0.9600	82.9216
50	3.9019	82.5188	0.9800	93.2463
100	4.6001	91.5882	0.9900	103.4947
500	6.2136	112.5463	0.9980	127.1773

Fuente: Propia.

Los valores mostrados en la tabla 22 de obtienen de las siguientes formulas:

Ecuación 18 Calculo de la Variable Reducida

$$YT = -Ln(Ln\left(\frac{T}{T-1}\right))$$

Fuente: Distribuciones estadísticas, Javier Sánchez.

En la ecuación 18 se muestra el cálculo para la variable reducida, que también es conocida como la variable de Gumbell y es determinada a partir del valor del período de retorno.

Ecuación 19 Calculo de Precipitación XT'

$$XT' = u + (\alpha * YT)$$

Fuente: Distribuciones estadísticas, Javier Sánchez.

Ecuación 20 Calculo de la probabilidad de Ocurrencia

$$F(xT) = e^{-e^{-\left(\frac{XT'-u}{\alpha}\right)}}$$

Fuente: Distribuciones estadísticas, Javier Sánchez.

Ecuación 21 Calculo de corrección intervalo fijo

$$XT = XT' * 1.13$$

Fuente: Distribuciones estadísticas, Javier Sánchez.

Tabla 23 Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

Fuente: D. F. Campos A., 1978

Los datos mostrados en la tabla 23 serán obtenidos como un porcentaje de los resultados de la precipitación máxima probable para 24 horas, para cada período de retorno, diferentes porcentajes de este valor según los tiempos de duración de lluvia adoptados. Con base a lo anterior, se procede a calcular la precipitación máxima probable o P.M.P la cual, es calculada a partir de la siguiente formula:

Ecuación 22 Calculo de precipitación para diferentes tiempos de duración

$$P.M.P = Coeficiente * XT$$

Fuente: Distribuciones estadísticas, Javier Sánchez.

Tabla 24 Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Cociente	P.M.P. (mm) para diferentes tiempos de duración Sg. Periodo de Retorno							
	5 años	10 años	15 años	20 años	25 años	50 años	100 años	500 años
X24	59.0664	69.9746	76.1290	80.4381	83.7573	93.9820	104.1313	127.5847
X18 = 91%	53.7504	63.6769	69.2774	73.1987	76.2191	85.5237	94.7595	116.1020
X12 = 80%	47.2531	55.9797	60.9032	64.3505	67.0058	75.1856	83.3050	102.0677
X8 = 68%	40.1651	47.5828	51.7677	54.6979	56.9550	63.9078	70.8093	86.7576
X6 = 61%	36.0305	42.6845	46.4387	49.0673	51.0919	57.3290	63.5201	77.8266
X5 = 57%	33.6678	39.8855	43.3935	45.8497	47.7417	53.5698	59.3548	72.7233
X4 = 52%	30.7145	36.3868	39.5871	41.8278	43.5538	48.8707	54.1483	66.3440
X3 = 46%	27.1705	32.1883	35.0193	37.0015	38.5284	43.2317	47.9004	58.6889
X2 = 39%	23.0359	27.2901	29.6903	31.3709	32.6653	36.6530	40.6112	49.7580
X1 = 30%	17.7199	20.9924	22.8387	24.1314	25.1272	28.1946	31.2394	38.2754

Fuente: Propia.

Basándose en los resultados de la tabla 24, y los tiempos de duración adoptados, es decir, los que son mostrados en la tabla 25 en la primera columna, se calcula la intensidad equivalente para cada caso, teniendo en cuenta que la intensidad está dada por la ecuación:

Ecuación 23 Calculo de Intensidad

$$I = \frac{P \text{ [mm]}}{t_{\text{duración}} \text{ [hr.]}}$$

Fuente: Distribuciones estadísticas, Javier Sánchez.

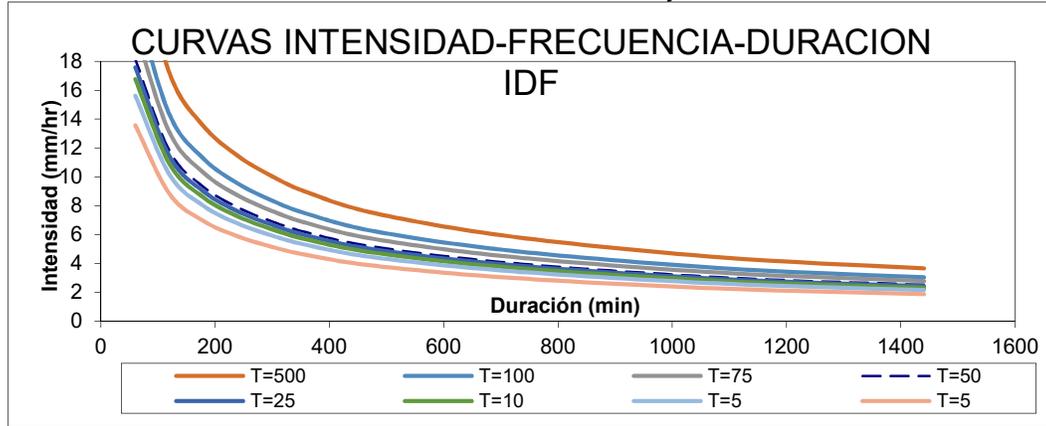
Tabla 25 Intensidades de lluvia para diferentes tiempos de duración

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno							
Hr	min	5 años	10 años	15 años	20 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	2.4611	2.9156	3.1720	3.3516	3.4899	3.9159	4.3388	5.3160
18 hr	1080	2.9861	3.5376	3.8487	4.0666	4.2344	4.7513	5.2644	6.4501
12 hr	720	3.9378	4.6650	5.0753	5.3625	5.5838	6.2655	6.9421	8.5056
8 hr	480	5.0206	5.9478	6.4710	6.8372	7.1194	7.9885	8.8512	10.8447
6 hr	360	6.0051	7.1141	7.7398	8.1779	8.5153	9.5548	10.5867	12.9711
5 hr	300	6.7336	7.9771	8.6787	9.1699	9.5483	10.7140	11.8710	14.5447
4 hr	240	7.6786	9.0967	9.8968	10.4570	10.8884	12.2177	13.5371	16.5860
3 hr	180	9.0568	10.7294	11.6731	12.3338	12.8428	14.4106	15.9668	19.5630
2 hr	120	11.5179	13.6451	14.8452	15.6854	16.3327	18.3265	20.3056	24.8790
1 hr	60	17.7199	20.9924	22.8387	24.1314	25.1272	28.1946	31.2394	38.2754

Fuente: Propia.

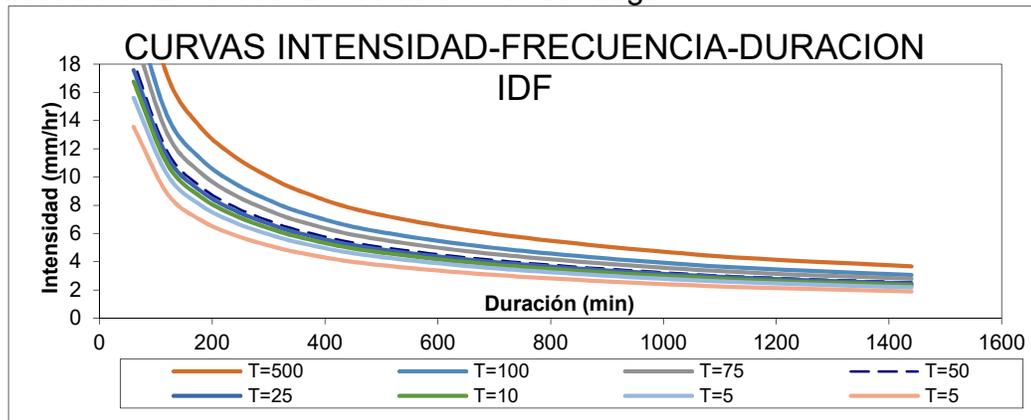
Para finalizar, a continuación, se muestran las curvas IDF para cada una de las estaciones pluviométricas incluyendo el promedio de las mismas.

Ilustración 31 Curvas IDF estación Col San Cayetano



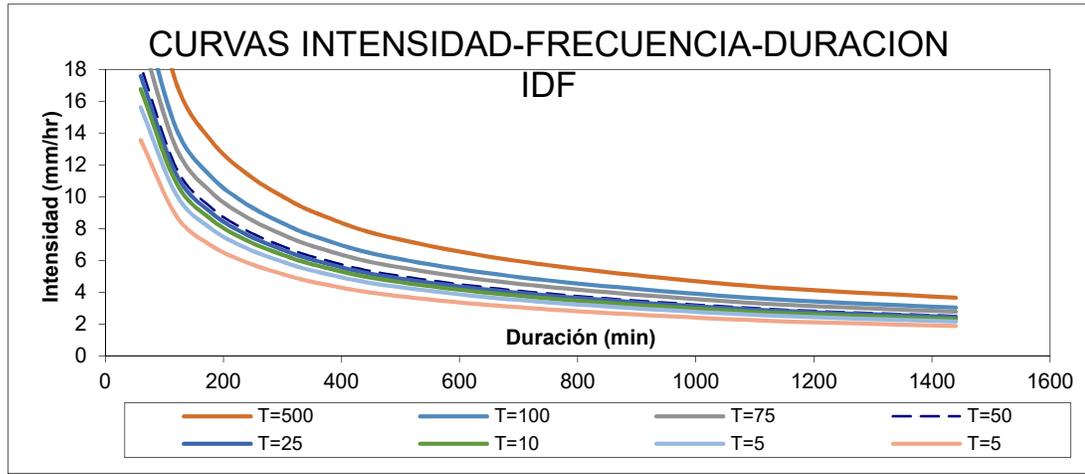
Fuente: Propia.

Ilustración 32 Curvas IDF estación Col Santiago



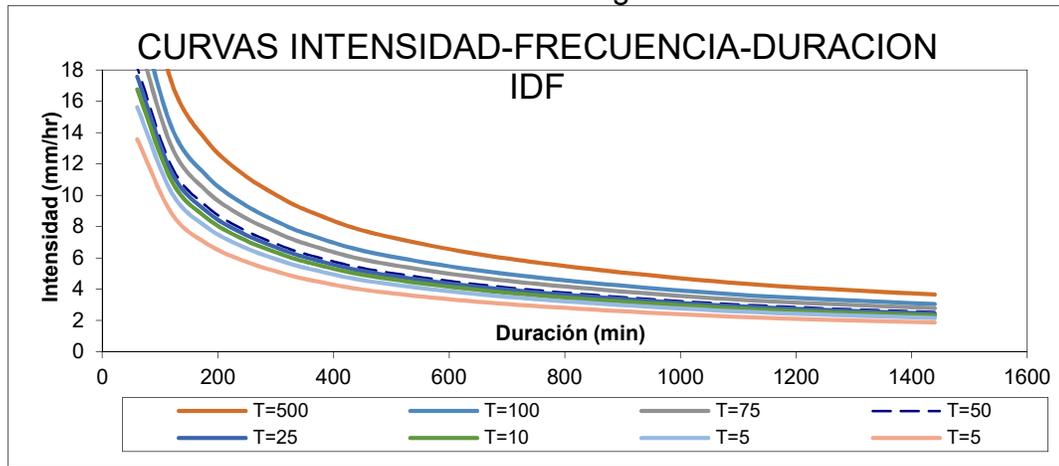
Fuente: Propia.

Ilustración 33 Curvas IDF estación Sta. María de Usme



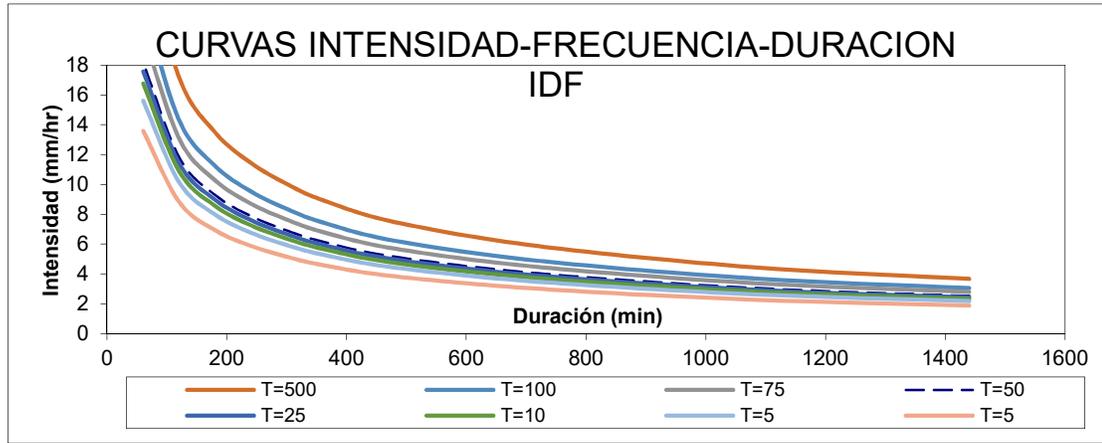
Fuente: Propia.

Ilustración 34 Curvas IDF estación San Jorge



Fuente: Propia.

Ilustración 35 Curvas IDF Promedio estaciones



Fuente: Propia.

En la ilustración 35 se muestran las curvas IDF del promedio de las estaciones previamente analizadas, las cuales están determinadas según periodos de retorno de 5, 10, 15, 20 y 25 los cuales hacen referencia a los años 2021, 2026, 2031, 2036 y 2041; dichos años son los que se espera que haya ocurrencia del fenómeno de la Niña.

La representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno, según Bernard (1932)⁶³ es:

Ecuación 24 Representación según Bernard

$$I = \frac{a * T^b}{t^c}$$

Fuente: Estimation of IDF curves of extreme rainfall by simple scaling in Slovakia.

Donde:

- I = Intensidad (mm/hr)
- t = Duración de la lluvia (min)
- T = Período de retorno (años)
- a, b, c=Parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable en la ecuación 24, se obtiene la ecuación 25.

Ecuación 25 Cambio de variable

$$d = a * T^b$$

Fuente: Propia.

Entonces, reemplazando la ecuación 25 en la ecuación 24, se obtiene una ecuación más simplificada:

Ecuación 26 Representación según Bernard simplificada

$$I = \frac{d}{t^c} \Rightarrow I = d * t^{-c}$$

Fuente: Propia.

⁶³ Márta Bara and others, 'Estimation of IDF Curves of Extreme Rainfall by Simple Scaling in Slovakia', *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 39.3 (2009), 187–206 <<https://doi.org/10.2478/v10098-010-0006-0>>.

A continuación de esto, se procede a realizar una regresión potencial para determinar de esta la ecuación de la curva IDF para la cuenca.

Tabla 26 Resumen regresión Potencial

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [c]
5	138.12	-0.62
10	154.96	-0.62
15	164.46	-0.62
20	171.12	-0.62
25	176.24	-0.62
Promedio =	160.98	-0.62

Fuente: Propia.

En función del cambio de variable realizado, es decir, la ecuación 26, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación 25, dando como resultado.

$$\text{Termino constante de regresión (a) = } 108.7$$

$$\text{Coef. de regresión (b) = } 0.152$$

De este modo, finalmente se obtienen los valores para la ecuación 24, reemplazando los valores obtenidos anteriormente, en dicha ecuación se obtiene que la ecuación de las curvas IDF para la cuenca de estudio, mostrados en la ecuación 27.

Ecuación 27 Ecuación de las curvas IDF en la zona

$$I = \frac{108.68 * T^{0.1501630}}{t^{0.61639}}$$

Fuente: Propia.

De tal como que como se mencionó anteriormente, T es el valor del periodo de retorno y t es el valor del tiempo de precipitación.

14 CALCULO DE CAUDAL

Para empezar, existen varios métodos para realizar el cálculo de caudal, debido a las circunstancias presentadas en este estudio, mayormente dadas por el tamaño de la cuenca, y por la ubicación de las estaciones pluviométricas, se debió realizar el análisis por medio del método racional, ya que este se puede usar para cuencas que no superan los 1400 Ha en Área y da la facilidad de trabajar con una ligera ausencia de datos. La ecuación del método correspondiente es:

Ecuación 28 Calculo del caudal por el método racional

$$Q_{max} = C * I * A$$

Fuente: Hidrología en la Ingeniería.

En donde:

- C: Coeficiente de Escorrentía
- I: Intensidad de lluvia periodo de retorno
- A: Área de la cuenca en Km²

Basándose en las intensidades que fueron calculadas anteriormente, las cuales van a ser usadas en este punto, se procedió a sustraer algunos de estos valores. De tal modo que:

Tabla 27 Datos intensidad lluvia según el periodo de Retorno (Promedio).

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el Periodo de Retorno en años							
Hr	min	5 años	10 años	15 años	20 años	25 años	50 años	100	500 años
24	1440	1.52	1.71	1.81	1.89	1.94	2.12	2.29	2.69
18	1080	1.85	2.07	2.20	2.29	2.36	2.57	2.78	3.26
12	720	2.44	2.73	2.90	3.02	3.11	3.39	3.66	4.30
8	480	3.11	3.48	3.70	3.85	3.96	4.32	4.67	5.48
6	360	3.71	4.17	4.42	4.60	4.74	5.16	5.59	6.56
5	300	4.16	4.67	4.96	5.16	5.31	5.79	6.26	7.35
4	240	4.75	5.33	5.66	5.88	6.06	6.60	7.14	8.39
3	180	5.60	6.29	6.67	6.94	7.15	7.79	8.42	9.89
2	120	7.12	7.99	8.48	8.83	9.09	9.90	10.71	12.58
1	60	10.96	12.30	13.05	13.58	13.99	15.24	16.48	19.35

Fuente: Propia.

Tabla 28 Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre</i> (cubierta de pasto menor del 50 % del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio</i> (cubierta de pasto del 50 al 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena</i> (cubierta de pasto mayor del 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con Autorización.

Fuente: Repositorio Universidad Distrital.⁶⁴

Tabla 29 Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.

Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional para cada periodo de retorno									
min	5	10	15	20	25	50	75	100	500
1440	0.43	0.45	0.46	0.48	0.49	0.52	0.54	0.55	0.62

Fuente: Propia.

⁶⁴ Frank Miller Gonzales Espinosa and Julian David Ortegón Carreno, 'CÁLCULO DEL CAUDAL DE LA CUENCA HIDROLÓGICA DE LA QUEBRADA GUAGUAQUI, DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, POR EL MÉTODO RACIONAL' <<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3184/2/CÁLCULO DEL CAUDAL DE LA CUENCA HIDROLÓGICA DE LA QUEBRADA GUAGUAQUI%2C DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ%2C POR EL MÉTODO RACIONAL.pdf>> [accessed 19 March 2018].

Tabla 30. Datos adicionales.

Área de la cuenca	m^2	3.45E+06
-------------------	-------	----------

Fuente: Propia.

Según los anteriores datos, es decir, el área de la cuenca mostrada en la tabla 30, la escorrentía dada por la tabla 28 y la intensidad de lluvias calculada anteriormente, y reemplazando en la ecuación 28, se obtienen los siguientes valores de caudales, para cada respectivo periodo de retorno.

Tabla 31 Caudales según el Periodo de Retorno en años en m^3/seg

Tiempo de duración		Caudales (m^3/seg) según el Periodo de Retorno en años							
Hr	min	5 años	10 años	15 años	20 años	25 años	50 años	100	500 años
24	1440	0.63	0.74	0.81	0.86	0.91	1.06	1.21	1.60
18	1080	0.76	0.89	0.98	1.05	1.11	1.28	1.46	1.94
12	720	1.00	1.18	1.29	1.38	1.46	1.69	1.93	2.56
8	480	1.28	1.50	1.64	1.76	1.86	2.15	2.46	3.26
6	360	1.53	1.80	1.96	2.10	2.23	2.57	2.95	3.90
5	300	1.72	2.02	2.20	2.36	2.50	2.89	3.30	4.37
4	240	1.96	2.30	2.51	2.69	2.85	3.29	3.77	4.99
3	180	2.31	2.71	2.96	3.17	3.36	3.88	4.44	5.88
2	120	2.94	3.45	3.77	4.03	4.27	4.94	5.65	7.48
1.508	90.5	3.72	4.36	4.77	5.10	5.40	6.25	7.15	9.46
1	60	4.52	5.31	5.80	6.21	6.57	7.60	8.69	11.50

Fuente: Propia.

Tabla 32 Caudales según el Periodo de Retorno en años en l/seg

Tiempo de duración		Caudales (l/seg) según el Periodo de Retorno en años							
Hr	min	2	5	10	25	50	75	100	500
24	1440	627.58	736.85	805.20	861.88	912.52	1055.13	1207.06	1597.90
18	1080	761.47	894.05	976.98	1045.75	1107.19	1280.22	1464.57	1938.79
12	720	1004.14	1178.96	1288.32	1379.01	1460.04	1688.20	1931.30	2556.64
8	480	1280.27	1503.18	1642.61	1758.24	1861.54	2152.46	2462.41	3259.72
6	360	1531.31	1797.92	1964.69	2102.99	2226.55	2574.51	2945.23	3898.88
5	300	1717.07	2016.03	2203.03	2358.11	2496.66	2886.83	3302.52	4371.86
4	240	1958.06	2298.98	2512.23	2689.07	2847.07	3291.99	3766.03	4985.45
3	180	2309.51	2711.62	2963.15	3171.72	3358.08	3882.87	4441.99	5880.28
2	120	2937.10	3448.47	3768.35	4033.61	4270.60	4937.99	5649.05	7478.18
1.508	90.5	3715.20	4362.05	4766.67	5102.20	5401.98	6246.18	7145.61	9459.32
1	60	4518.61	5305.33	5797.46	6205.55	6570.16	7596.91	8690.84	11504.89

Fuente: Propia.

15 REALIZACION DE HIDROGRAMAS POR HEC-RAS

Para empezar, un hidrograma se utiliza “para el análisis de cuencas hidrográficas pequeñas y grandes”⁶⁵. Dicho esto, previamente de la realización de los hidrogramas por cada periodo de retorno, se calcularon valores importantes a la hora de realizar este tipo de gráficas. De tal modo que:

15.1 Tiempo de Retardo

Ecuación 29 Calculo del Tiempo de Retardo

$$Tr = 0.6Tc$$

Fuente: Hidráulica E Hidrología Para Ingeniería

Siendo que Tc es igual al tiempo de concentración previamente calculado, reemplazando en la ecuación 29 se obtiene que:

$$Tr = 0.6(1.508 \text{ horas})$$

$$Tr = 0.905 \text{ horas}$$

15.2 Duración de la Lluvia o Tormenta

Ecuación 30 Calculo de la duración de la tormenta

$$de = 2\sqrt{Tc}$$

Fuente: Hidráulica E Hidrología Para Ingeniería

De tal modo que:

$$de = 2\sqrt{1.3701}$$

$$de = 2.456 \text{ horas}$$

⁶⁵ Antonio Campos, *Hidraulica E Hidrologia Para Ingenieria*, 2016 <<https://es.scribd.com/document/359569377/A-Campos-Hidraulica-e-Hidrologia-Para-Ingenieria-2016>> [accessed 15 April 2018].

15.3 Tiempo Pico

Ecuación 31 Calculo del Tiempo Pico

$$Tp = \frac{de}{2} + Tr$$

Fuente: Hidráulica E Hidrología Para Ingeniería

Reemplazando en la ecuación 31 los valores previamente calculados:

$$Tp = \frac{2.341}{2} + 0.822$$

$$Tp = 2.133 \text{ horas}$$

15.4 Tiempo Base

Ecuación 32 Calculo del Tiempo Base

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

Fuente: Hidráulica E Hidrología Para Ingeniería

Del mismo modo:

$$Tb = \frac{8}{3} (1.993)$$

$$Tb = 5.687 \text{ horas}$$

15.5 Caudal Pico Unitario

Ecuación 33 Calculo del Caudal pico unitario

$$Qp = 0.208 \frac{A}{Tp}$$

Fuente: Hidráulica E Hidrología Para Ingeniería

De esta manera:

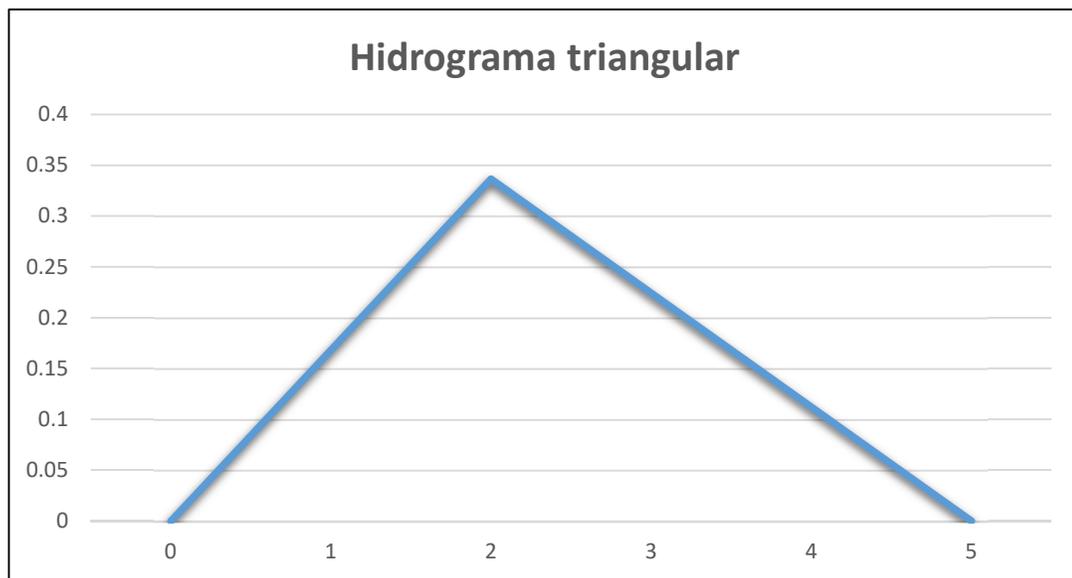
$$Qp = 0.208 \frac{3.45 \text{ Km}^2}{1.993 \text{ horas}}$$

$$Qp = 0.336 \frac{m^3}{s * mm}$$

Este caudal pico unitario, al ser multiplicado por la precipitación de cada uno de los periodos de retorno, da como resultado el caudal pico para este mismo año.

Adicionalmente, una de las maneras de graficar este caudal es realizando un hidrograma triangular, el cual permite ver el comportamiento de una manera más simplificada. Cabe aclarar que este hidrograma es unitario, es decir, no aplica para ningún periodo de retorno.

Ilustración 36 hidrograma Triangular Unitario



Fuente: Propia.

Tabla 33 Precipitación según periodo de Retorno

Precipitación en mm según Periodo de retorno				
5 años	10 años	15 años	20 años	25 años
36.535	40.990	43.503	45.262	46.618

Fuente: Propia.

De este modo, multiplicando el caudal pico unitario por cada una de las precipitaciones mostradas en la tabla 33, se obtienen los caudales picos para cada periodo de retorno.

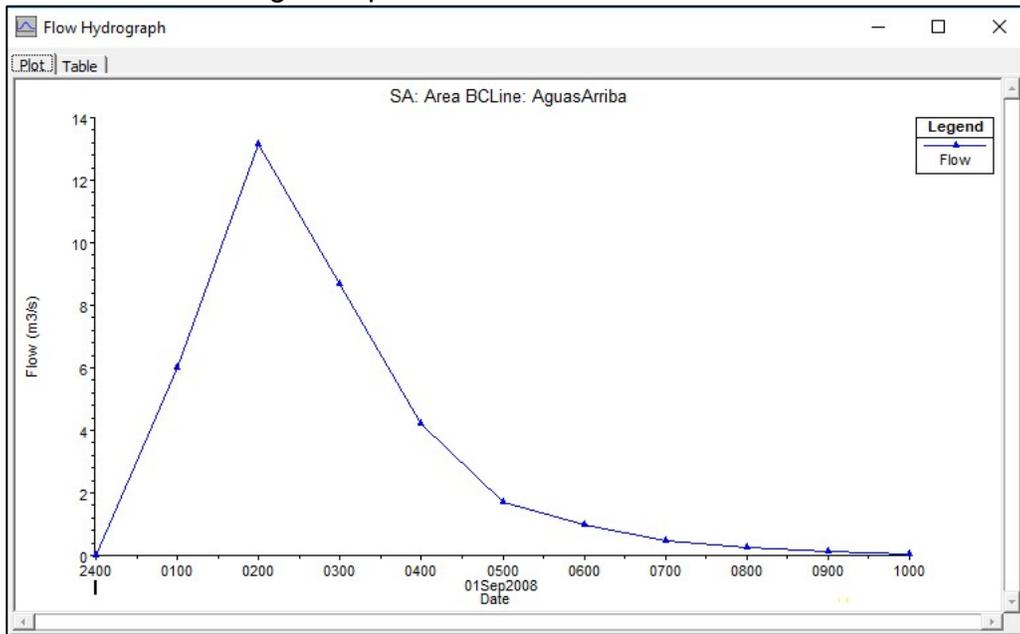
Tabla 34 Caudal Pico por cada periodo de retorno

Caudal en m ³ /s según periodo de retorno				
5 años	10 años	15 años	20 años	25 años
12.292	13.791	14.637	15.229	15.685

Fuente: Propia.

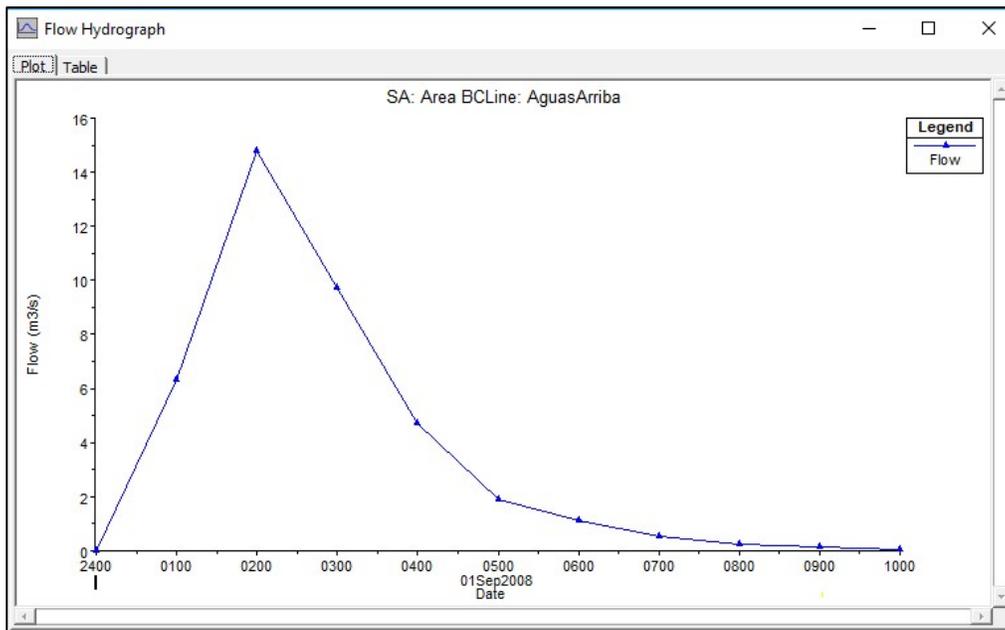
Ingresando estos valores en Hec-Ras obtenemos hidrogramas de la siguiente forma:

Ilustración 37 Hidrograma para un T=5 años



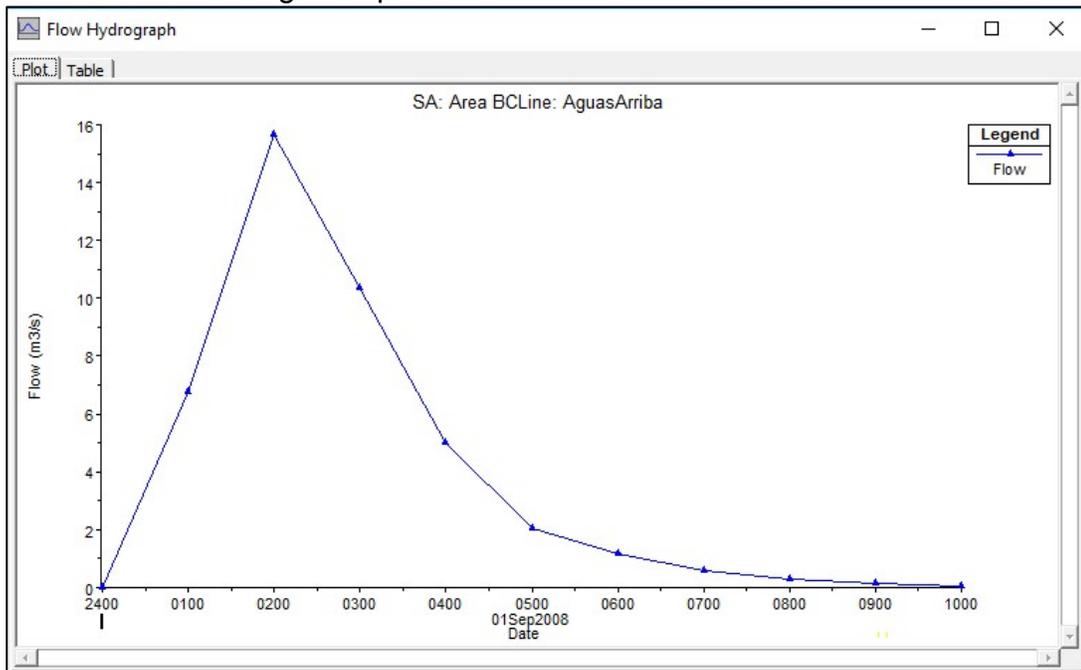
Fuente: Propia.

Ilustración 38 Hidrograma para un T=10 años



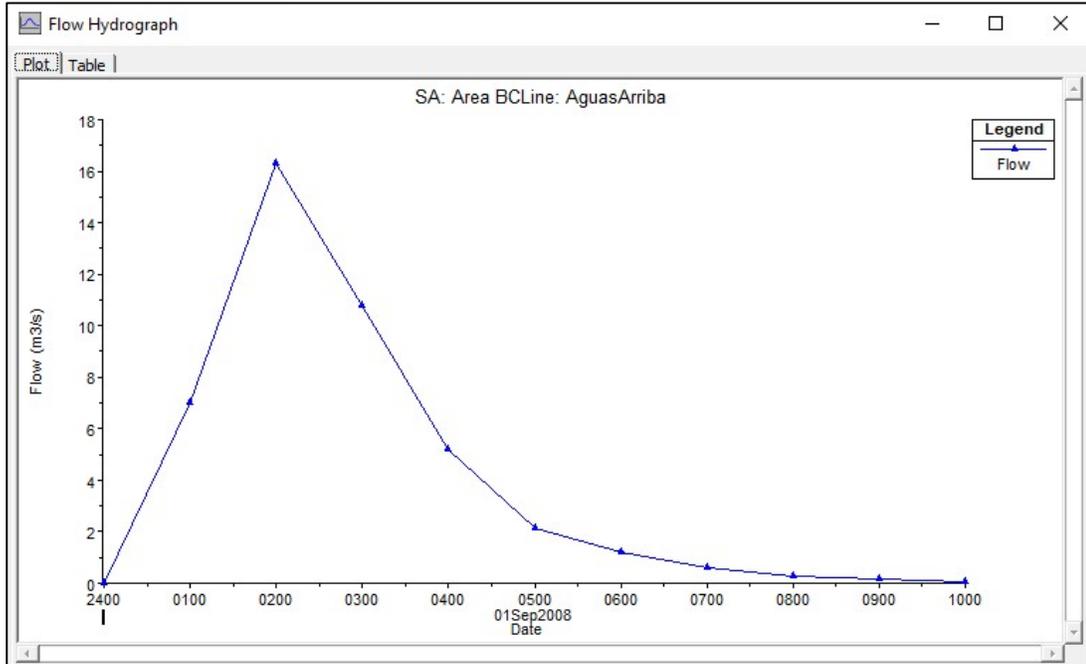
Fuente: Propia.

Ilustración 39 Hidrograma para un T=15 años



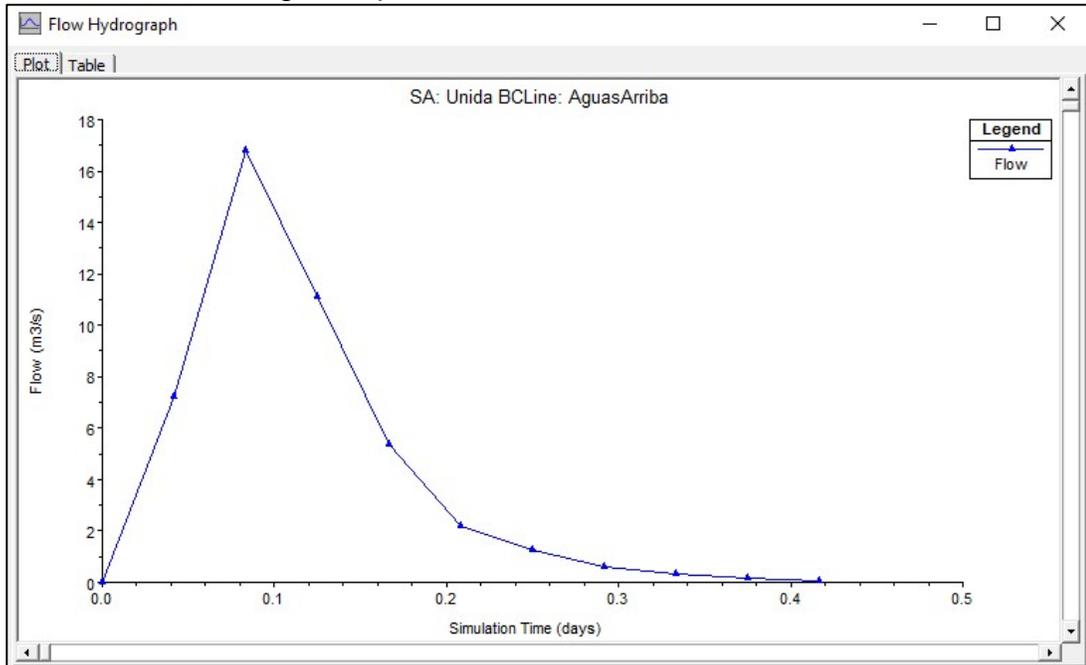
Fuente: Propia.

Ilustración 40 Hidrograma para un T=20 años



Fuente: Propia.

Ilustración 41 Hidrograma para un T=25 años

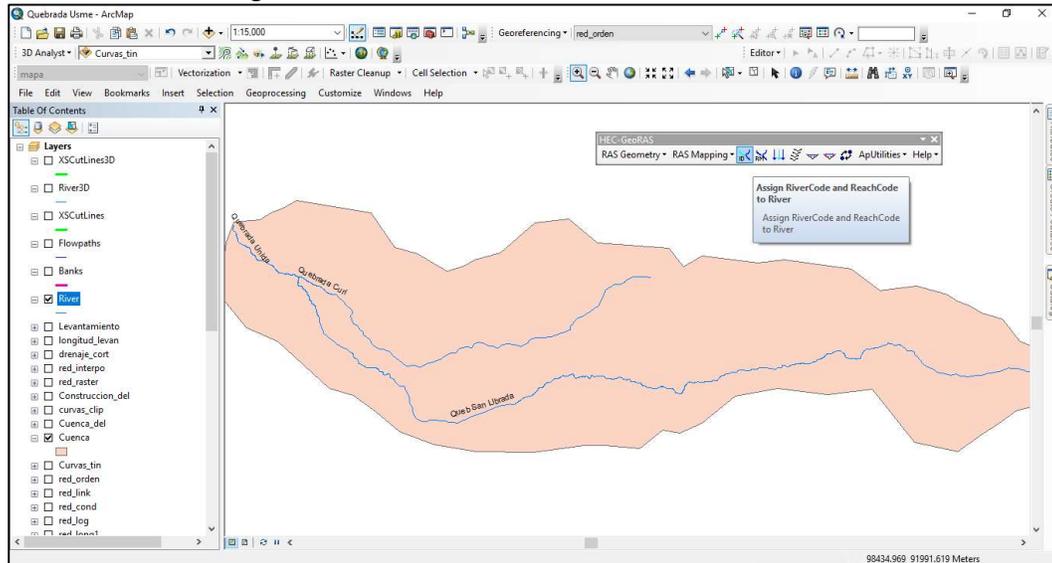


Fuente: Propia.

16 MODELACIÓN MEDIANTE HEC-RAS

Retomando lo obtenido en el capítulo 11, se asignaron los nombres de las quebradas como se muestra en la ilustración 42.

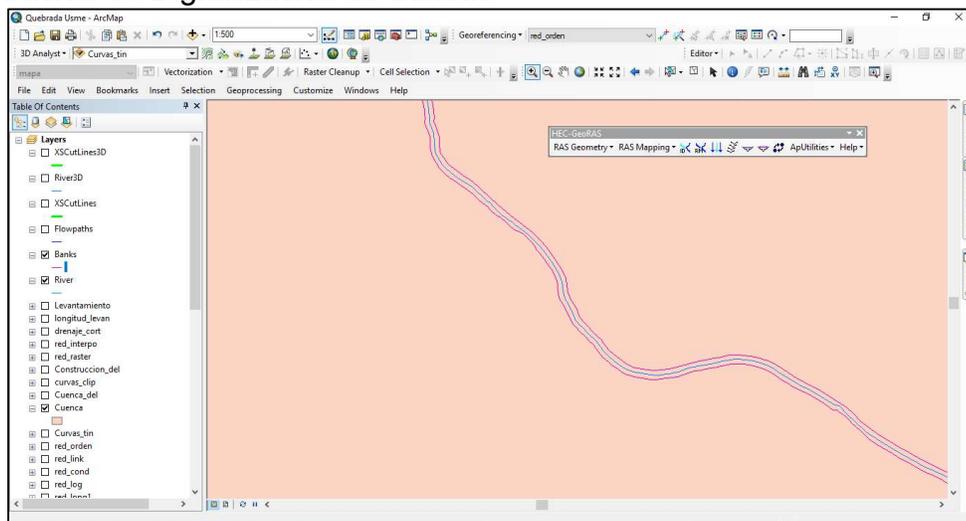
Ilustración 42 Asignación de Nombres



Fuente: Propia.

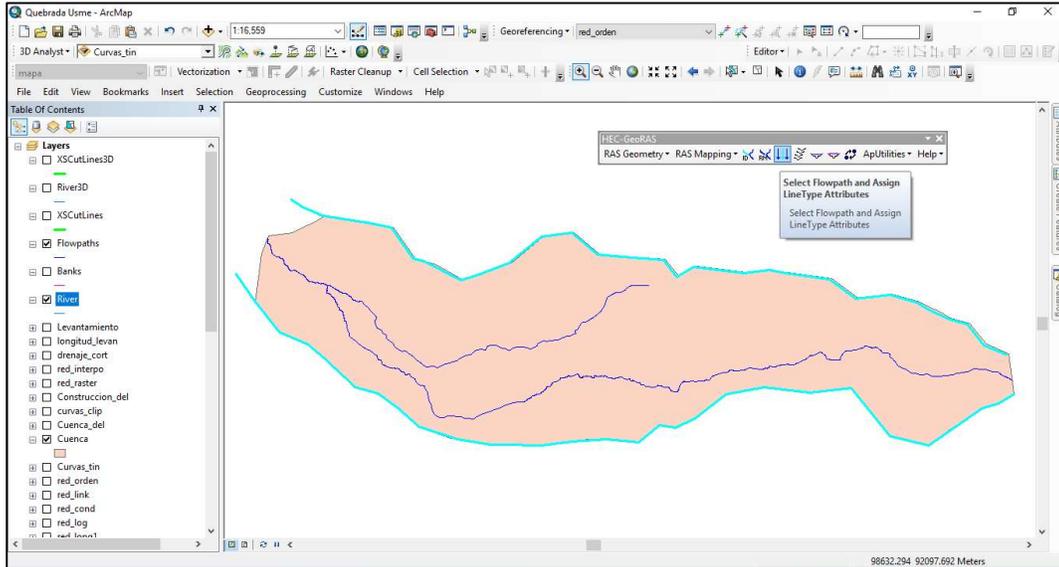
Continuo a esto, se digitalizan las divisiones de los cauces o “bancas” y del mismo modo, se crea la limitación del máximo que toma en cuenta en la simulación, es decir, la cuenca misma.

Ilustración 43 Digitalización de bancas



Fuente: Propia.

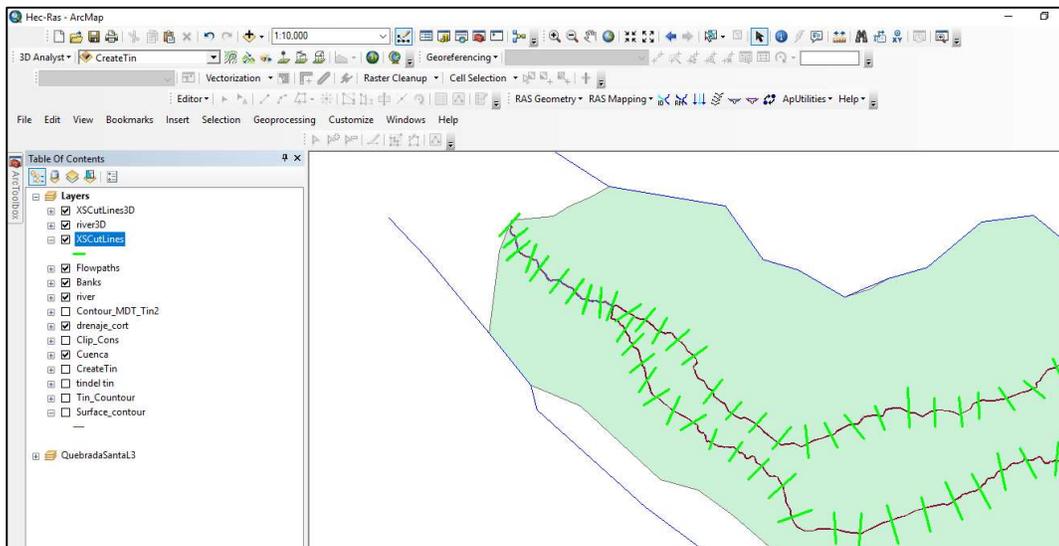
Ilustración 44 Limitación de la simulación



Fuente: Propia.

Continuando con el proceso, se crearon líneas de corte del cauce con un intervalo de 10 m y ancho de 20 m, se debe tener en cuenta que estas líneas no pueden intersectar entre ellas.

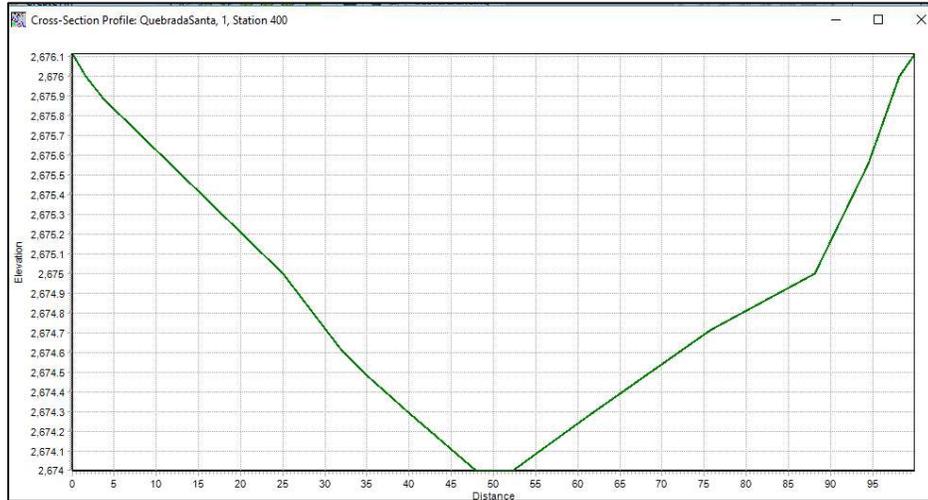
Ilustración 45 Líneas de corte del cauce



Fuente: Propia.

Teniendo en cuenta esto, se proyectó el análisis 3D, mediante este proceso se va recopilando la información del terreno, lo cual permite que se puedan ver secciones transversales de la quebrada, tal como se ve en la ilustración 46.

Ilustración 46 Sección Transversal



Fuente: Propia.

A continuación de esto, se procede a utilizar la herramienta HEC-RAS, ingresando datos necesarios calculados previamente, como lo son la pendiente, caudales, geometría, y valores adicionales como el coeficiente de Manning, entre otros.

Ilustración 47 Datos ingresados a HEC-RAS

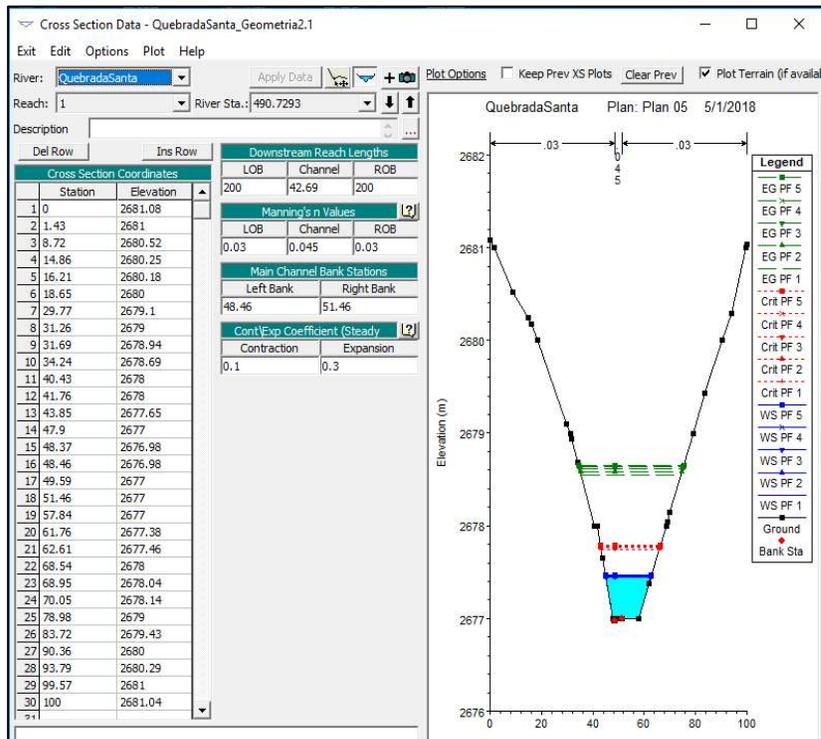
The screenshot shows the "Steady Flow Data - QuebradaCuri_Caudales" dialog box in HEC-RAS. It includes a menu bar (File, Options, Help), a field for "Enter/Edit Number of Profiles (32000 max):" set to 5, and buttons for "Reach Boundary Conditions ..." and "Apply Data". Below this is a section for "Locations of Flow Data Changes" with dropdowns for "River:" (Quebrada Curi), "Reach:" (3), and "River Sta.:" (1999.294). A table titled "Flow Change Location" and "Profile Names and Flow Rates" is shown below. The table has columns for River, Reach, RS, PF 1, PF 2, PF 3, PF 4, and PF 5. The data row shows: River: Quebrada Curi, Reach: 3, RS: 1999.294, PF 1: 3.72, PF 2: 4.36, PF 3: 4.77, PF 4: 5.10, PF 5: 5.40. Below the table are "Steady Flow Boundary Conditions" options, "Available External Boundary Condition Types" (Known W.S., Critical Depth, Normal Depth, Rating Curve, Delete), and a table for "Selected Boundary Condition Locations and Types". The selected table has columns for River, Reach, Profile, Upstream, and Downstream. The data row shows: River: Quebrada Curi, Reach: 3, Profile: all, Upstream: Normal Depth S = 0.09, Downstream: Normal Depth S = 0.09. At the bottom are buttons for "Steady Flow Reach-Storage Area Optimization ...", "OK", "Cancel", and "Help".

River	Reach	RS	PF 1	PF 2	PF 3	PF 4	PF 5
1 Quebrada Curi	3	1999.294	3.72	4.36	4.77	5.10	5.40

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Quebrada Curi	3	all	Normal Depth S = 0.09	Normal Depth S = 0.09

Fuente: Propia.

Ilustración 48 Insumos en HEC-RAS



Fuente: Propia.

Realizando el modelamiento de las quebradas, y exportando estos resultados a ArcGIS se obtiene un mapa de inundación, mostrado en la ilustración 49.

Ilustración 49 Mapa de Inundación



Fuente: Propia.

Con la ilustración 49 se pueden destacar puntos críticos en los que se puede notar una afectación a los predios, pues estos se encuentran dentro de la mancha de inundación, es decir, el área de inundación. Cabe aclarar que en la quebrada superior es la Quebrada Curí, y la Quebrada Santa María es la que se encuentra a en la parte inferior, es decir, la de mayor longitud.

Ilustración 50 Acercamiento #1 Puntos críticos



Fuente: Propia.

Ilustración 51 Acercamiento #2 Puntos críticos



Fuente: Propia.

Ilustración 52 Acercamiento #3 Puntos críticos



Fuente: Propia.

Como se puede observar en las ilustraciones 50, 51 y 52, existen predios que están expuestos a una inundación, en especial en periodos donde hay presencia del fenómeno de la niña.

Con fin de hacer un énfasis en los resultados obtenidos por cada periodo de retorno, en las ilustraciones 53 a 57, se observan los puntos críticos de la mancha de inundación obtenida para periodos de retorno de 5, 10, 15, 20 y 25 años respectivamente.

Ilustración 53 Puntos críticos para T = 5 años



Fuente: Propia.

Ilustración 54 Puntos críticos para T = 10 años



Fuente: Propia.

Ilustración 55 Puntos críticos para T = 15 años



Fuente: Propia.

Ilustración 56 Puntos críticos para T = 20 años



Fuente: Propia.

Ilustración 57 Puntos críticos para T = 25 años



Fuente: Propia.

17 ANALISIS

Mediante el histograma anual mostrado en la ilustración 30, se puede observar como en el año 2011 hay un pico de precipitaciones por el fenómeno de la niña, en comparación con los demás años. En el año 2016 también hubo influencia del fenómeno de la niña y teniendo en cuenta como se mencionó anteriormente que el periodo de recurrencia típico de este fenómeno es de 5 años, se estima que el fenómeno de la niña actuó en los años 2021, 2026, etc.

De la misma manera, se puede observar mediante el histograma mensual, es decir, la ilustración 29, que mayo y noviembre son los meses con mayores precipitaciones, en especial este primer mes, en donde se dan las mayores precipitaciones totales y diarias.

Adicionalmente, si se analizan los hidrogramas realizados por HEC-RAS se ve el caudal pico en la quebrada para cada uno de los periodos de retorno, y el tiempo transcurrido desde que empieza a precipitar hasta que se encuentre este caudal pico. Del mismo modo se muestra el tiempo que toma para que la quebrada vuelva a su condición normal, entendiéndose esta como el caudal normal de la quebrada. Como era de esperarse, los resultados de los periodos de retorno más grandes aumentan en comparación de los anteriores, y se ve que el tiempo en el que se encuentra el caudal pico es aproximadamente 0.1 días, es decir, 2 horas con 24 minutos desde que empieza la tormenta, esto se relaciona con la pendiente de la cuenca, puesto que, al tener terreno montañoso, el tiempo en que se presenta el mayor caudal en la quebrada es mucho menor. Sin embargo, según esta modelación, el aumento del cauce en la quebrada se presenta hasta aproximadamente 0.45 días, es decir, 10 horas con 48 minutos desde que la tormenta inicia, en este punto, la quebrada debería ser capaz de volver a su caudal normal.

Teniendo en cuenta el mapa de inundación mostrado en la ilustración 49, se puede observar la presencia de varias viviendas dentro de la mancha de inundación, es decir que, en el caso de presentarse una crecida, estos predios tienen altas posibilidades de sufrir daños y perjuicios ocasionados por inundaciones. Del mismo modo, se observa que esta situación se da en las dos zonas residenciales que tienen contacto con las quebradas, incluso en

ocasiones la mancha de inundación llega a consumir cuadrantes completos de viviendas.

Debido a cambios tanto de pendiente como de sección transversal en ciertos puntos a lo largo de la quebrada Santa Librada, se presenta un efecto de embalsamiento en la misma, generando de esta manera desbordamientos. Esto queda evidenciado en la ilustración 53, donde se muestra que la mancha de inundación ocupa predios ubicados en su mayoría en la convergencia de las dos quebradas analizadas. Así mismo, en la quebrada Curí se presenta el mismo efecto de embalsamiento, en gran medida por el abrupto cambio de pendiente que esta sufre, sin embargo, la zona que abarca la mancha de inundación de esta quebrada ocupa una menor cantidad de viviendas debido a la ubicación de las mismas. Similar a esto, en la ilustración 55 se aprecia que la mancha de inundación para un periodo de retorno de 15 años se crece en comparación a las anteriores, abarcando de este modo, predios cercanos a la quebrada Santa Librada, en especial en cuyas secciones geometrías son angostas, y por lo tanto se crea un efecto de embalsamiento.

Como se ha estado viendo, la zona más vulnerable es donde se presenta la confluencia de las dos quebradas analizadas, de tal modo que como se muestra en la ilustración 56 se prevé que con un periodo de retorno de 20 años, esta zona sea la más vulnerable del sector, sin embargo, para este momento, las manchas de inundación abarcan una mayor parte de la zona circundante a la quebrada Santa Librada, a tal punto, de llegar a cubrir sectores con un pendiente inferior al promedio de la cuenca, generando afectaciones a los predios ubicados en esta zona, la cual, cabe aclarar que es una donde hay más presencia de viviendas.

De acuerdo con la ilustración 57, es decir, la mancha de inundación con un periodo de retorno de 25 años, se muestra que la zona vulnerable se torna más grande, llegando al punto de juntarse las manchas de inundación de las dos quebradas en más de un punto, además, se ilustra que la convergencia de las dos quebradas analizadas se da en un punto aguas, por consecuente el riesgo de esta zona se amplía significativamente. Adicionalmente, para este periodo de retorno se muestra que la mancha de inundación es capaz de abarcar cuadrantes completos de predios, que en su mayoría son de tipo unifamiliar.

Realizando una comparación entre la ilustración 49, en donde se muestra la mancha de inundación para las dos quebradas, con la ilustración 2, en la cual se ve la ubicación geográfica del estudio, se puede observar que el barrio más vulnerable a sufrir inundaciones, es el barrio denominado como “Santa Librada Norte”, pues, en este barrio se presenta la conjetura de las dos quebradas analizadas, es decir, el punto crítico del estudio. Por el contrario, se ve que el barrio “La sureña” y “Los tejares” son los barrios en donde es menos probable la ocurrencia de inundaciones, esto en gran medida, debido a que en estos barrios se da el nacimiento de la quebrada Curí, cabe aclarar que en estos barrios la presencia de viviendas es mucho menor en comparación con el barrio Santa Librada Norte, puesto que el uso del suelo de los mismos, es de tipo industrial, llegando a abarcar una gran ladrillera en gran parte del barrio Los tejares la cual se mostró en la ilustración 4.

Finalmente, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, es correcto afirmar que la quebrada Santa Librada es la más crítica de las dos analizadas, llegando a cubrir predios privados en dos grandes puntos ubicados en el barrio Santa Librada Norte, esto debido tanto a sus condiciones hidrográficas como a la geometría que esta misma posee. Además, alrededor de la quebrada Santa Librada es donde se presenta una mayor aglomeración de viviendas, aumentando así, la vulnerabilidad de la zona puesto que el suponiendo un desbordamiento de esta quebrada afectaría un gran número de viviendas, que, en gran parte, son de tipo unifamiliar.

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis de precipitaciones en la localidad de Usme, específicamente en la zona de estudio, y como se ha dicho anteriormente, se concluye que los meses de mayo y noviembre son los meses que destacan por la cantidad de precipitación, del mismo modo, en los primeros 3 meses del año es común que se presenten pocas precipitaciones, tendiendo a presentarse sequías.

Mediante la realización de los hidrogramas, se observó que el periodo crítico se da aproximadamente entre 1 y 4 horas empezada la tormenta. Esto se da con un tiempo de concentración de la precipitación de 1,37 horas.

Se prevé que el fenómeno de la niña afectará las precipitaciones en los años 2021, 2026, 2031, 2036, 2041, etc. Sin embargo, la magnitud del efecto que este fenómeno tenga en las precipitaciones, depende en gran medida de su contra parte, pues cuando el fenómeno del niño sucede antes que la niña, suele amplificarse el efecto de esta, como fue en el año 2011. Cabe aclarar que el tiempo de recurrencia de estos dos fenómenos como se especificó anteriormente es diferente y no es constante.

Mediante el mapa de inundación observado en la ilustración 49, se observa la vulnerabilidad a inundación que tienen algunas viviendas, en especial aquellas dentro de la ronda de la quebrada Santa Librada, aumentando en el punto de la convergencia con la quebrada Curí, pues incluso llega a generarse una unión de las manchas de inundación aguas arriba.

Como fue mencionado anteriormente, haciendo la correlación de la ilustración 49 con la ilustración 2, se puede concluir que el barrio más vulnerable es el denominado Santa Librada Norte, esto se da en gran parte por las condiciones topográficas e hidráulicas de las dos quebradas, en este sector.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para futuros estudios que tengan en cuenta el fenómeno de ENOS en la zona andina, no se realicen los estudios de acuerdo a años calendario, por el contrario, realizar el estudio de acuerdo a temporadas, puede ser, por ejemplo, años empezados desde junio, esto debido a que el fenómeno de ENOS suele tener más influencia desde finales de año hasta inicios del siguiente. Aunque resulta más visible en finales de un año en específico.
- Se recomienda realizar un seguimiento del proyecto, teniendo en cuenta la inundación en la población estudiada, y de este modo, facilitar la toma de decisiones en momentos oportunos y así llegar a mitigar los daños que pueden llegar a darse en la comunidad de la zona.
- Un aspecto ambiental y que puede llegar a tener influencia en la probabilidad de ocurrencia de una inundación es la gran presencia de sólidos en el cauce de las quebradas, en especial, de la quebrada Curí, se recomienda que la comunidad realice campañas de limpieza de estas quebradas. Pues este aspecto puede llegar a provocar efectos de taponamiento o de embalsamiento, y generando así desbordamiento de agua.
- Al momento de realizar el modelamiento de la quebrada Santa Librada, se presentaron problemas debido a la topografía presentada en la cartografía dada por el IGAC, en gran parte por la falta de actualización de la misma, es por esto, que se recomienda realizar un estudio topográfico extenso aplicado en la zona aledaña a la quebrada Santa Librada a la altura del barrio Santa Librada Norte.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, Ana Maria, and Geovanny Bedoya, 'Creación, Actualización Y/o Homogeneización de Inventarios de Desastres Por Eventos Históricos Y Cotidianos a Nivel de La Subregión Andina', 2008, 69 <<http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/r2/osso/Cons025-2006-CorporaciónOSSO-InformeColombia-1.8.pdf>>
2. Alarcon, Ana Maria, 'Houston No Sale de Su Sorpresa Por La Peor Inundación de Su Historia | Noticias de Internacional En Heraldo.es' <<http://www.heraldo.es/noticias/internacional/2017/08/29/houston-no-sale-sorpresa-por-peor-inundacion-historia-1193998-306.html>> [accessed 11 September 2017]
3. ArcGIS Resource Center, 'Introducción a SIG' <<http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>> [accessed 18 March 2018]
4. Ariño, Marino Latorre, '¿QUÉ ES UN MODELO CIENTÍFICO? Introducción Al Modelo T' <http://www.editorialbruno.com.pe/MarinoLaTorre/wp-content/uploads/2013/12/que_es_un-modelo_cientifico.pdf> [accessed 18 March 2018]
5. Bara, Márta, Silvia Kohnová, Ladislav Gaál, Ján Szolgay, and Kamila Hlavčová, 'Estimation of IDF Curves of Extreme Rainfall by Simple Scaling in Slovakia', *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 39 (2009), 187–206 <<https://doi.org/10.2478/v10098-010-0006-0>>
6. BELLO, SERGIO ALEJANDRO ALVARADO, 'Uso De Un Sistema De Información Geográfica Para El Análisis De Amenaza Por Inundaciones En La Cuenca Alta Del Río Bogotá-Municipio De Cota-L{Imites Localidad De Suba', 2014 <<http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1800/1/Uso-SIG-para-análisis-amenaza-inundaciones-cuenca-alta-río-Bogotá.pdf>>
7. Campos, Antonio, *Hidraulica E Hidrologia Para Ingenieria*, 2016 <<https://es.scribd.com/document/359569377/A-Campos-Hidraulica-e-Hidrologia-Para-Ingenieria-2016>> [accessed 15 April 2018]
8. Caviedes, César, 'Influencia de ENOS Sobre Las Variaciones Interanuales de Ciertos Ríos En América Del Sur', *Bulletin de l'Institut Français D'études Andines*, 27 (1998)
9. EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA, 'Informe Quebrada Santa Librada' (Bogotá D.C., 2000), pp. 1–46
10. Gonzales Espinosa, Frank Miller, and Julian David Ortegon

- Carreno, 'CÁLCULO DEL CAUDAL DE LA CUENCA HIDROLÓGICA DE LA QUEBRADA GUAGUAQUI, DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, POR EL MÉTODO RACIONAL' <<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3184/2/CÁLCULO DEL CAUDAL DE LA CUENCA HIDROLÓGICA DE LA QUEBRADA GUAGUAQUI%2C DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ%2C POR EL MÉTODO RACIONAL.pdf>> [accessed 19 March 2018]
11. IDEAM, 'Amenaza Por Inundación', 1 (2017), 47 <<http://www.ideam.gov.co/documents/24277/0/Presentación+amenaza+por+inundación/835cd7ee-7fb3-417c-ac6b-dd3d3a960cda>>
 12. ———, 'CURVAS IDF' <<http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>> [accessed 28 March 2018]
 13. IDEAM, and Fidel Alberto Pardo Ojeda, 'Guia Metodológica Para Los Cálculos Y Obtención de Los Parámetros Hidrofisiográficos', 2001
 14. IDEAM, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguvio, and others, 'Evolución de Precipitación Y Temperatura Durante Los Fenómenos El Niño Y La Niña En Bogotá - Cundinamarca (1951-2012)', 2014, 16
 15. 'Las 5 Inundaciones Más Grandes de La Historia | Alerta Catastrofes' <<http://www.alertacatastrofes.com/5-inundaciones-mas-grandes-historia/>> [accessed 10 September 2017]
 16. Medina, Gustavo Silva, 'Hidrología En Cuencas Pequeñas Con Información Escasa', *Ingeniería E Investigación*, 1987, 24–30
 17. Mejía Bejarano, Luisa Fernanda, and David Felipe Chicué Álvarez, 'Análisis De Vulnerabilidad Territorial Por Inundación En El Municipio De Chía, Cundinamarca.', 2014, 73
 18. Ministerio de Educación Nacional, Colombia, 'Sistema de Información Geográfico Del Sector Educativo', 2015 <<http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>> [accessed 6 September 2017]
 19. Monsalve Saéñz, Germán, 'Hidrología En La Ingeniería', 2008, p. 382
 20. Olmos, Moreno, and Silvia Haydeé, 'La Habitabilidad Urbana Como Condición de Calidad de Vida', *Palapa*, 3 (2008), 47–54 <<http://www.redalyc.org/>>
 21. Poveda, Germán, 'La Hidroclimatología De Colombia : Una Síntesis Desde La Escala Inter-Decadal Hasta La Escala Diurna', *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias*, XXVIII (2004), 201–22
 22. Robayo Mejía, Leidy A., 'Análisis de Amenaza Por Inundación Para La Localidad de Tunjuelito, desarrollado a Través de Sistemas de Información Geográfica.', 2014, 56 <<http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1578/1/Análisi>>

- s_amenaza_inundación_Tunjuelito_por_SIG.pdf>
23. Sanchez, Javier, 'Distribuciones Estadísticas', 2008, 1–12
 24. Sedano Cruz Karim, Carvajal Escoar Yesid, Ávila Díaz Alvaro Javier, 'Análisis de Aspectos Que Incrementan El Riesgo de Inundaciones En Colombia', *Luna Azul*, 2013, 219–218
 25. El Tiempo, 'Inundaciones En Bogotá: Noticias, Fotos Y Videos de Inundaciones En Bogotá - ELTIEMPO.COM' <<http://www.eltiempo.com/noticias/inundaciones-en-bogota>> [accessed 10 September 2017]
 26. Vélez Jaime, Correa Paula, 'Sistema de Información Geográfica Para Apoyar La Gestión Del Recurso Hídrico En Cuencas Rurales'
 27. Sedano Cruz, Karime, y Yesid Carvajal Escobar. «Variabilidad climática, cambio climático y gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia». *Revista Semillas Cc* (2013): 47-53. Web.
 28. Saurí, David et al. «La percepción del riesgo de inundación: experiencias de aprendizaje en la Costa Brava». *Papeles de Geografía* 52 (2010): 269-278. Web.
 29. Pabón, José Daniel. «El cambio climático global y su manifestación en Colombia». *Cuadernos de Geografía: XII* (2003): 111-119. Web.
 30. Fula, Katherin, y Claudia Ayala. «Más Que Un Tema De Moda». *Estudiantes de Administración de Empresas y Gestión Ambiental de la Fundación Universitaria Monserrate* (2007): 13-22. Print.
 31. «Redalyc calentami». (2008): n. pag. Print.
 32. «Fenómeno de la Niña». N.p., s. f. Web. 13 sep. 2017.
 33. Overman, Larry E, Michael H Rabinowitz, y Paul A Renhowe. «+ 0 12». 14 (1995): 2657-2658. Print.
 34. Rojas, Samuel Moreno et al. «Localidad usme diagnóstico local de salud con participación social 2009-2010 enero de 2010». (2010): 1-426. Print.
 35. Paper, Working. «www.econstor.eu». (2005): n. pag. Print.
 36. Karmakar, Subhankar et al. «An Information System for Risk-Vulnerability Assessment to Flood». *Journal of Geographic Information System* 2.3 (2010): 129-146. Web.

ANEXOS

1. Ubicación y polígonos de Thiessen creados con ArcGIS teniendo en cuenta estaciones pluviométricas encontradas.
2. Carta Topográfica obtenida del IGAC.