

**ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA DISEÑAR OBRAS HIDRÁULICAS EN LA VÍA QUE
COMUNICA LOS CORREGIMIENTOS DE SABANAGRANDE Y GUAIMARAL,
MUNICIPIO DE CURUMANI, DEPARTAMENTO DEL CESAR.**

AUTOR (ES):

ADRIANA MARCELA ARIZA ARAUJO
MARITZA ELENA CERVANTES RUIZ

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR
2021**

**ESTUDIO HIDROLOGICO PARA DISEÑAR OBRAS HIDRÁULICAS EN LA VIA
QUE COMUNICA LOS CORREGIMIENTOS DE SABANAGRANDE Y GUAIMARAL,
MUNICIPIO DE CURUMANI, DEPARTAMENTO DEL CESAR.**

AUTOR (ES):

ADRIANA MARCELA ARIZA ARAUJO
MARITZA ELENA CERVANTES RUIZ

DIRECTOR:

ING. YIM JAMES RODRIGUEZ

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR
2021**

Agradecimientos

Culminando esta etapa de mi vida quiero darle gracias a DIOS primeramente por su infinito amor para conmigo, agradezco su bondad, protección y cuidado en todo momento además de brindarme la oportunidad de crecer en conocimiento y conocer personas que han sido soporte, apoyo y base en mi formación. A mi familia, fieles, constantes en este proceso, por su motivación, guía, enseñanzas y valores inculcados

Adriana Marcela Ariza Araujo.

“El señor ha estado grande con nosotros y estamos alegres”. Doy Gracias a Dios por permitirme culminar esta etapa que con esfuerzo, dedicación y sacrificios he podido conseguir. Gracias a mis padres quienes han sido mi apoyo y mi fortaleza en este caminar. Gracias a mis hermanos, tíos, primos, abuelos, también a mis amigos que aun en las circunstancias en las que se encuentren me han ayudado en oración y consejos. A mis sacerdotes queridos gracias por sus oraciones y sus palabras de aliento. Gracias mi amor por tu comprensión, y tu valiosa compañía, sin duda has sido mi respuesta de parte de Dios. No me queda duda que en todo tiempo ¡MI DIOS ES FIEL!

Maritza Elena Cervantes Ruiz.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2	JUSTIFICACIÓN.....	20
3	OBJETIVOS.....	22
3.1	OBJETIVO GENERAL:.....	22
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	22
4	MARCO DE REFERENCIA.....	23
4.1	ANTECEDENTES	23
4.2	MARCO TEÓRICO.....	25
4.2.1	Cuencas Hidrográficas.....	25
4.2.2	Parámetros Morfométricos.....	25
4.2.2.1	Delimitación de la Cuenca Hidrográfica.....	25
4.2.2.2	Clasificación de las Cuencas Hidrográficas.....	26
4.2.2.3	Área de la Cuenca.....	27
4.2.2.4	Perímetro de la Cuenca.....	28
4.2.2.5	Longitud del Cauce Principal.....	28
4.2.2.6	Ancho Promedio de la Cuenca (Ap).....	29
4.2.2.7	Factor de forma.....	29
4.2.2.8	Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (kc).....	30

4.2.2.9	Índice de Alargamiento.....	33
4.2.3	Parámetros Hidrográficos.....	34
4.2.3.1	Orden de los Cauces.....	34
4.2.3.2	Ley de Bifurcación.....	35
4.2.3.3	Ley de longitudes.....	36
4.2.3.4	Densidad de drenaje (Dd).....	36
4.2.3.5	Pendiente del cauce principal.....	36
4.2.3.6	Pendiente de la Cuenca.....	37
4.2.3.7	Pendiente media de la cuenca.....	39
4.2.3.8	Curva Hipsométrica.....	40
4.2.4	Determinación del Caudal.....	41
4.2.4.1	Método Racional.....	41
4.2.4.2	Coeficiente de Escorrentía.....	42
4.2.4.3	Periodo de Retorno.....	43
4.2.4.4	Tiempo de Concentración.....	44
4.2.4.5	Intensidad (mm/h).....	46
4.2.4.6	Curva IDF.....	46
4.2.5	Vías.....	47
4.2.5.1	Clasificación de las Vías.....	47
4.2.5.1.1	Según su Funcionalidad.....	48

4.2.5.1.2	Según el Tipo de Terreno.....	48
4.2.6	Obras Hidráulicas.....	50
4.3	MARCO CONCEPTUAL (Glosario).....	51
4.4	MARCO CONTEXTUAL.....	54
4.4.1	Ubicación.....	54
4.4.2	Geografía.....	58
4.4.3	Hidrografía.....	59
4.4.4	Clima.....	59
4.4.5	Ecología.....	60
4.4.6	Fauna.....	60
4.4.7	Flora.....	60
4.5	MARCO LEGAL.....	61
5	METODOLOGÍA.....	64
5.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	64
5.2	FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	64
5.2.1	FASE I: Recolección de Información Primaria y Secundaria.....	64
5.2.2	FASE II: Análisis Hidrológico.....	64
5.2.2.1	Determinación de Parámetros Morfológicos a Través de Análisis de Información Cartográfica.....	64
5.2.2.2	Determinación de parámetros hidrográficos.....	69

5.2.3	FASE III: Cálculo de los Caudales Máximos	71
5.2.4	FASE IV: Determinación de los criterios de diseños	72
6	RESULTADOS Y ANÁLISIS	73
6.1	FASE I: Recolección de Información Primaria y Secundaria.	73
6.2	FASE II: Análisis Hidrológico.....	76
6.2.1	Área.....	85
6.2.2	El Perímetro.	87
6.2.3	Índice de alargamiento.....	87
6.2.4	Longitud del Cauce Principal.....	89
6.2.5	Longitud Axial	89
6.2.6	Ancho Promedio de la Cuenca.....	89
6.2.7	Factor Forma de la Microcuenca	89
6.2.8	Índice de Compacidad K_c	91
6.2.9	Tiempo de Concentración.....	97
6.2.10	Hidrograma unitario adimensional del SCS.	98
6.2.11	Determinación de parámetros hidrográficos.....	99
6.2.11.1	Orden de los cauces y relación bifurcación.....	100
6.2.11.2	Ley de longitudes.	102
6.2.11.3	Densidad de drenaje (D_d).....	103
6.2.11.4	Pendiente del cauce principal.....	104

6.2.11.5	Curva Hipsométrica.....	104
6.3	FASE III: Cálculo de los caudales máximos	106
6.3.1	Coefficiente de Escorrentía	106
6.3.2	Intensidad (mm/h).....	107
6.3.3	Caudal (Q).....	108
6.4	FASE IV: Determinación de los criterios de diseños.	110
7	CONCLUSIÓN	112
8	RECOMENDACIONES	114
9	BIBLIOGRAFIA	116
10	ANEXO	121



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Área de Tamaño de Cuencas.....	27
Tabla 2. Rangos de Longitud	28
Tabla 3. Rango de Formas	29
Tabla 4. Características de la Cuenca de Acuerdo con el Valor Kc	31
Tabla 5. Tipo de Relieve Según la Pendiente	39
Tabla 6. Valores del Coeficiente de Escorrentía.....	43
Tabla 7. Periodos de Retorno de Diseño en Obras de Drenaje Vial.	44
Tabla 8. Descripción del tramo que comunica a Sabanagrande y Guaimaral.....	45
Tabla 9. Normatividad	61
Tabla 10. Lista de Chequeo de Obras en la Vía.....	73
Tabla 11. Parámetros Morfométricos de la Cuenca.....	84
Tabla 12. Parámetros Morfométricos del Punto de Intercepto	84
Tabla 13. Valores para Índice de Alargamiento	88
Tabla 14. Valores para Índice de Alargamiento del Punto Intercepto	88
Tabla 15. Re: Relación de Elongación.....	90
Tabla 16. Intensidad-Duración-Frecuencia de la Estación Curumaní	94
Tabla 17. Valores para tiempo de concentración en diferentes métodos.....	97
Tabla 18. Parámetros para Tabulación del Hidrograma de la Microcuenca General y Punto de Intercepto.	98

Tabla 19. Bifurcación (Horton) de la Microcuenca.	102
Tabla 20. Densidad de Drenaje para la Microcuenca y Punto de Intercepto.	103
Tabla 21. Pendiente Ponderada para la Microcuenca y Punto de Intercepto.	104
Tabla 22. Cálculos de los Parámetros para Construir la Curva Hipsométrica en la Microcuenca Total.	105
Tabla 23. Cálculos de Intensidad, Para Diferentes Periodos de Retorno en la Microcuenca y Punto de Intercepto.	107
Tabla 24. Caudal por los Métodos Racional, Burkli – Ziegler, Mc – Math en la Microcuenca.	108
Tabla 25. Caudal por los Métodos Racional, Burkli – Ziegler, Mc – Math en el Punto de Intercepto	109
Tabla 26. Caudales Hidráulicos de Acuerdo al Tipo de Obras	110



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Divisoria de aguas de la microcuenca de la quebrada San Antonio Subcuenca del río Chipalo.....	26
Figura 2. Comparación de la forma de cuencas según valores del Coeficiente de Compacidad.	32
Figura 3. Orden de los cauces.....	35
Figura 4. Curva hipsométrica.....	41
Figura 6. Curva IDF. Intensidad Duración Frecuencia.....	47
Figura 7. Localización de Curumaní en Cesar.....	56
Figura 8. Descripción del tramo que comunica a Sabanagrande y Guaimaral	58
Figura 9. Alcantarilla.....	74
Figura 10. Cultivo de palmas de corozo.....	75
Figura 11. Área de estudio.....	76
Figura 12. Delimitación del área de influencia.....	77
Figura 13. Obtención de Modelo de elevación digital por ALASKA PALSAR.....	78
Figura 14. Imágenes de Día y Noche de la Zona de estudio por Alos Palsar	79
Figura 15. DEM (Modelo de elevación digital).....	80
Figura 16. Direcciones de flujo.....	82
Figura 17. Delimitación de la Cuenca de Estudio.....	83
Figura 18. Delimitación de la Cuenca y sub cuencas.....	83
Figura 19. Punto de intercepto de la hoya hidrográfica en el tramo vial.....	86

Figura 20. Precipitaciones de la Estación	93
Figura 21. Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia.	95
Figura 22. Hietograma para un periodo de diseño de 10 años y 2 horas.	96
Figura 23. Hidrograma unitario adimensional del SCS	99
Figura 24. Delimitación de Microcuencas del Caño Guadual usando la herramienta Watershed. 100	
Figura 25. Orden de Cauces de la Microcuenca.	101
Figura 26. Curva Hipsométrica de la Cuenca en Estudio.	105



I. RESUMEN

En este trabajo se desarrolló el estudio hidrológico para la construcción de la vía cuya distancia es de K7+098.88 que comunica a los corregimientos de Sabanagrande y Guaimaral, permitiendo determinar la morfología de la cuenca hidrográfica, de acuerdo con los parámetros de área, orden de drenaje, densidad de corrientes, forma de la microcuenca, pendiente del cauce principal, elevación de la microcuenca, entre otros; además de analizar y evaluar la precipitación mediante registros históricos de precipitación, obteniendo las curvas de intensidad, frecuencia y duración sintéticas, hallando un modelo hidrológico de intensidad de lluvia de la microcuenca caño Guadual con un área de 5.74 Km² y su punto de intercepto con la vía que tiene un área de 5,11 Km². Obtenida la información del análisis de precipitación, se realizó el cálculo del Hidrograma de creciente considerando la metodología de Hidrograma unitario sintético de Soil Conservation Service (SCS). Adicionalmente se realizó el cálculo de caudal máximo, usando el método Racional, método de Burkli – Ziegler y Mc Math, los mismos fueron usados como base fundamental en el desarrollo de posteriores análisis para la proyección de obras hidráulicas que se generen en la vía. En este caso se recomienda una alcantarilla mayor a 0.90 metros de diámetro tipo box culvert con un caudal de 11.61 m³/s.

Palabras claves: Hidrología, cuenca, hidrograma, curvas IDF, caudal, diseño hidráulico, Box culvert.

II. ABSTRACT

In this work, the hydrological study was developed for the construction of the road whose distance is K7 + 098,88 that connects the townships of Sabanagrande and Guaimaral, allowing to determine the morphology of the hydrographic basin, according to the area parameters, order of drainage, current density, shape of the watershed, slope of the main channel, elevation of the watershed, among others; in addition to analyzing and evaluating precipitation through historical precipitation records, obtaining synthetic intensity, frequency and duration curves, finding a hydrological model of rainfall intensity of the Caño Guadual micro-basin with an area of 5,74 km² and its intercept point with the road that has an area of 5,11 km². Obtained the information from the precipitation analysis, the calculation of the flood hydrograph was carried out considering the synthetic unit hydrogram methodology of Soil Conservation Service (SCS). Additionally, the maximum flow calculation was carried out, using the Rational method, the Burkli-Ziegler and Mc Math method, which were used as a fundamental basis in the development of subsequent analyzes for the projection of hydraulic works that are generated on the road. In this case, a box culvert type culvert greater than 0.90 meters in diameter with a flow of 11,61 m³/s is recommended.

Keywords: Hydrology, basin, hydrograph, IDF curves, flow, hydraulic design, Box culvert.

III. INTRODUCCIÓN

La hidrología se define como la estimación de la escorrentía máxima (precipitación – escorrentía) de una cuenca aportante sobre la vía para un periodo de retorno o de recurrencia definido, por ello es necesario en el diseño de drenajes viales. (Jose, 2017)

En el siguiente proyecto se presentan la metodología en donde se enmarca un estudio hidrológico para la vía terciaria que comunica Sabanagrande Guaimaral, la cual no cuenta con obras hidráulicas para la evacuación de agua lluvias producto de las precipitaciones intensas que pueden ocasionar inundaciones, daños a la infraestructura y al tránsito de la misma, dañando la intercomunicación de los corregimientos.

Se calcula el caudal de diseño en m^3/s a fin de contar con una buena estimación hidrológica de los caudales de escorrentía, que circularán por la vía, para así diseñar obras de drenaje ubicados según los puntos críticos que se encuentren. Estas obras son llamadas obras hidráulicas como lo son: Alcantarillas de diferentes diámetros, Box Culvert, Cunetas y otros.

En este proyecto existe un punto de intercepto o punto crítico en el que el caño cruza el tramo vial y donde se encuentra construida una alcantarilla.

Para realizar el análisis hidrológico se necesitó información por parte del IDEAM en la estación CURUMANI (25020250) cuyas precipitaciones en conjunto con los estudios de los parámetros Morfométricos y los caudales máximos en las cuencas hidrográficas permitió establecer un criterio del comportamiento y las partes de la cuenca, como la intensidad, el coeficiente, los periodos de retorno, y uno de los objetivos específicos es el caudal máximo

hallados por los métodos: Racional, Burkli – Ziegler y Mc Math, estos valores son imprescindibles para el diseño y planificación de obras civiles que ayudan a ordenar la información de la microcuenca en el tramo vial, por lo cual se obtuvo un soporte hidrológico que se empleará para proyectar adecuadamente, en los puntos de intercepto y la microcuenca futuras obras de drenaje.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia se clasifica como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo. Según el Estudio Nacional del Agua realizado por el IDEAM, se estima un rendimiento hídrico promedio de 63 l/s-km² que supera seis veces el rendimiento promedio mundial (10 l/s-km²) y tres veces el rendimiento de Latinoamérica (21 l/skm²), así mismo del volumen total anual de precipitación en Colombia, el 61% se convierte en escorrentía superficial (IDEAM, 2010).

Las instituciones nacionales encargadas de la infraestructura de nuestro país no cuentan con los recursos suficientes para desarrollar estudios completos de diseño hidrológico e hidráulico de las vías terciarias. En donde se desarrollen diseños de obras hidráulicas muchas veces solo se tienen estudios a nivel estructural, ocasionando que los proyectos falten de un sustento técnico necesario para que estas resistan las inclemencias de la naturaleza.

En la construcción de vías terciarias sin un previo estudio hidrológico e hidráulico se presentan problemas, que acarrear consecuencias, como daños a la infraestructura debido a las precipitaciones intensas que pueden ocasionar inundaciones, las cuales con un estudio hidrológico permiten conocer los caudales máximos de avenida a partir del conocimiento del régimen de lluvias máximas y la caracterización del territorio; además de si es necesario la utilización de puentes estos presentan colapso o daños sufridos debido a la erosión o socavación de los elementos estructurales. Todo esto debido a no tener una capacidad hidráulica suficiente producto de la ausencia de un estudio hidráulico.

Curumaní municipio del departamento del Cesar, basa su economía en el sector primario, una de estas actividades es la pesca por tal motivo los habitantes en busca de este producto se desplazaban hasta la ciénaga pesquería formada por el río Cesar y el Animito, para abastecerse, utilizando el trayecto de Sabanagrande, Guaimaral (es aquí donde nace como corregimiento), pero era necesario sacar sus productos al mercado formando de esta manera la carretera que conecta a los pobladores con el resto del municipio.

Uno de los problemas que presenta la vía se encuentra en el primer tramo comprendido (Sabanagrande a la línea férrea), las aguas del caño gradual cuando se crece el río en épocas de invierno se desborda hacía lado derecho de la vía, mientras que del lado izquierdo tiene al cerro Champan para evitar el desbordamiento. Otro de los lugares donde se presenta el mismo problema es el segundo tramo correspondiente a la (línea férrea y Guaimaral), el río animito también se desborda, pero este hacía el lado izquierdo de la carretera ya que es el lado más bajo que conduce hacía la ciénaga.

Otros de los problemas, según registros e información suministrada por pobladores del área entre Sabanagrande – Guaimaral tiende a ser crítico debido a la ausencia de infraestructura, de tecnología de uso adecuadas, e inadecuada planificación en el uso y distribución del agua, y estos a su vez hacen que año tras año con el crecimiento poblacional, pecuario y agrícola disminuya la disponibilidad y el acceso al lugar. Entre estos problemas uno de los que tienen mayor relevancia es la falta de estudios que permitan conocer la Dinámica del Sistema Hidrológico.

La falta de planeación y diseño de construcción de las vías terciarias, de los corregimientos de Sabanagrande y Guaimaral comprendida entre las abscisas K0+ 000 al K1+983.61 sector 1 y del K0+000 al K5+115.27 sector 2, del municipio de Curumaní, Cesar, ha ocasionado retraso en las diferentes actividades de dicha población, lo cual hace difícil el desplazamiento del mercado de productos, las actividades agrícolas, el acceso a servicios médicos básicos, así como también a servicios de educación de mejor calidad.



2. JUSTIFICACIÓN

Colombia, un país donde las vías terciarias son la gran apuesta de infraestructura para el desarrollo del campo y la consolidación de la paz, dado que se ejecutan en las zonas más vulnerables y con mayor impacto en la generación de economías locales (DNP, Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018).

Por lo tanto, en el departamento del Cesar más específico en el Municipio de Curumaní les apuntan a obras como estas que beneficien a los corregimientos y a la comunidad vulnerable, debido a que no poseen una infraestructura vial y se hace complicada la intercomunicación de la población rural con las demás regiones. Esto genera congestiones en las vías por pasos restringidos, junto con el aumento de los tiempos de viaje y baja comercialización de productos del municipio y retraso en actividades como el acceso a servicios médicos. Es por esto por lo que surge la necesidad de realizar este proyecto de investigación. (DNP, 2018)

En la actualidad no se dispone de información suficiente que resuelva la problemática presente en la vía que comunica Sabanagrande – Guaimaral; a causa de esto es necesario, abordarlo por medio de un estudio hidrológico: donde se busca obtener información detallada acerca de la zona de estudio, y se pretende planificar el desarrollo de los recursos hídricos, cubriendo las necesidades y conservación de la vida natural. Para el cumplimiento del desarrollo de este proyecto se tiene en cuenta la norma que establece el estado colombiano, en donde se “provee de guías para el planeamiento y el diseño de los dispositivos hidráulicos relacionados

con la infraestructura de transporte terrestre a cargo del instituto nacional de vías” (INVIAS, 2009)

Con los resultados del estudio veremos el comportamiento hídrico de la cuenca y eventos de precipitaciones en la zona, estudiando las afecciones que provocan en el proyecto para minimizar el impacto medio ambiental o civil en todo tipo de construcciones. Es muy importante que el sistema de drenaje de la carretera sea el adecuado para que el agua que se retenga producto de las precipitaciones y de las cuencas existentes no altere las propiedades de los materiales que la componen y facilite su impacto. Además, tomar medidas ante posibles desastres, como puede ser las afecciones producidas en la crecida de un río.



3. OBJETIVOS.

3.1 OBJETIVO GENERAL:

Realizar un estudio hidrológico para diseñar obras hidráulicas de la vía que comunica a los corregimientos de Sabanagrande y Guaimaral del municipio de Curumaní, departamento del Cesar.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Establecer las características morfométricas de la cuenca aferente en cada uno de los puntos de intercepto con la vía.
- Calcular los caudales máximos que se emplean para proyectar adecuadamente los elementos de drenaje de la vía, canales de drenajes superficiales para el manejo de las aguas de escorrentía en el tramo de estudio.
- Determinar los criterios de diseño (Períodos de retorno) en cada uno de los puntos y/o áreas aferentes.



4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 ANTECEDENTES

- Arbeláez, Vélez, y Smith (1997), denominado “Diseño hidrológico con información escasa. Un caso de estudio: “Río San Carlos” (1997), el cual fue elaborado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. En él, se presentan los caudales máximos instantáneos asociados a ciertos períodos de retorno obtenidos por varias metodologías. Para la realización del estudio se aplicaron algunas técnicas de información escasa. Las metodologías utilizadas fueron: Análisis de frecuencia, Modelos lluvia escorrentía, Método racional.
- Vélez y otros (2013) Realizaron el: Diseño hidráulico e hidrológico de obras de ingeniería para proyectos viales - 2013. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales realizado en anillo vial para la región centro - sur del departamento de Caldas, tramo Tres Puertas – Alto El Paisa El departamento de caldas es una región que se caracteriza por su desarrollo, lo que implica la realización de grandes obras, donde se hace necesario un estudio hidráulico e hidrológico.
- Construcciones el Condor S.A (2014), denominado “Construcción, rehabilitación, operación y mantenimiento del sistema vial para la conexión de los departamentos del Cesar y Guajira”. Variante San Diego.
- Becerra, y Quiroga (2014), realizaron un Estudio “Estimación de las áreas de Protección Ambiental en la zona urbana del vergel – municipio de Ibagué, cuenca del Río Chípalo” -

2014, en la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. En este estudio hidrológico se estimaron los caudales máximos para diferentes periodos de retorno, en la zona urbana de Vergel, específicamente en microcuencas de las quebradas Ambalá, La Balsa y Las Panelas, las cuales hacen parte de dicha cuenca. La importancia es establecer las zonas de protección del Río Chípalo ya que esta fuente podría llegar a aumentar la oferta hídrica para el municipio de Ibagué.

- Algeciras Karen, Bermúdez Jennifer (2016), realizaron el análisis del comportamiento de la cuenca hidrográfica de la quebrada Tuaneca ubicada en la vía que comunica los municipios Siachoque y Toca, departamento de Boyacá (2016), en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con el fin de determinar las características pluviométricas, morfológicas y el caudal máximo de creciente de la quebrada.
- Pérez José, (2017), estudio hidrológico proyecto rehabilitación y mejoramiento de la vía el refugio – los llanos, perteneciente al municipio de Pailitas, departamento del Cesar.
- Consorcio Asfalto Curumaní, (2018), realizaron el Mejoramiento y pavimentación en concreto asfáltico de la carretera Troncal de Oriente del corregimiento de Sabana Grande, en el municipio de Curumaní – Cesar. En él se elaboró el diseño y construcción de estructuras y obras de drenajes como: cunetas continuas, alcantarillas con distancias de 200 m para canalizar y dar cauce a la escorrentía, aportando en la solución de la necesidad de infraestructura vial de la región.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Cuencas Hidrográficas.

En el artículo 312 del Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto ley 2811 de 1974), define la cuenca hidrográfica así: “Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor, que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de agua, en un pantano o directamente en el mar”.

4.2.2 Parámetros Morfométricos.

Los parámetros que se describirán son importantes para conocer las características físicas de las cuencas hidrográficas.

4.2.2.1 Delimitación de la Cuenca Hidrográfica.

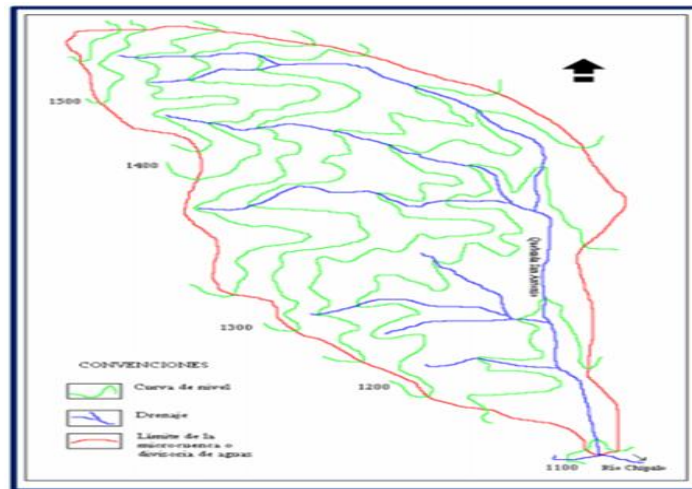
Los caudales efluentes de las cuencas hidrográficas están delimitados por líneas divisorias las cuales son las encargadas de separar las precipitaciones que caen en hoyas inmediatamente vecinas. La divisoria une los puntos de máxima cota entre hoyas.

Generalmente, la delimitación de la cuenca como área de estudio, en mapas o fotografías aéreas, se hace siguiendo la línea de mayor altura o divisoria de aguas, hasta encerrar toda el área cuyas aguas drenan a través de un colector común, en una sección o punto considerado, que bien puede ser la desembocadura o cualquier sección dentro del cauce principal. En los mapas, la línea de mayor altura está representada por la forma cóncava que presentan las curvas de nivel,

en tanto que los drenajes o partes más bajas están determinados por la forma convexa de las curvas de nivel.

Figura 1.

Divisoria de aguas de la microcuenca de la quebrada San Antonio Subcuenca del río Chipalo.



Fuente: Algeciras, Bermúdez (2016)

4.2.2.2 Clasificación de las Cuencas Hidrográficas.

La subdivisión o clasificación de las cuencas hidrográficas se realiza con el fin de hacer manejable el estudio de sus datos hidrométricos, además de caracterizar el área de influencia del cauce. A continuación, la clasificación de las cuencas por categorías de tamaño:

- Microcuenca. Área determinada por divorcios de agua, con una superficie menor o igual a 10.000 Ha (100 km^2).

- Cuenca pequeña. Área con una superficie mayor a 10.000 Ha, pero menor o igual a 100.000 Ha (1000 km^2).
- Cuenca mediana. Le corresponde una superficie mayor a 100.000 Ha., pero menor o igual a 500.000 Ha (5000 km^2).
- Cuenca grande. Es aquella que tiene una superficie mayor de 500.000 Ha, pero menor o igual a 1.000.000 Ha (100.000 km^2).
- Cuenca muy grande. Es la que tiene una superficie mayor a 1.000.000 de Ha.

4.2.2.3 Área de la Cuenca.

Es la proyección horizontal de la superficie de la cuenca, se puede medir directamente sobre el plano topográfico; se considera la característica geomorfológica más importante, por su gran influencia sobre el caudal: esté normalmente aumenta a medida que aumenta el área de la cuenca, se determina en Km^2 .

Para la caracterización hidrológica se recopilan datos de antecedentes o sucesos hidrológicos y/o hidráulicos sobre la vía incorporados en algunos estudios realizados por el IDEAM.

Tabla 1.

Área de Tamaño de Cuencas.

<i>TAMAÑO (Km^2)</i>	DESCRIPCIÓN
<i>$A \leq 100$</i>	Microcuenca

$100 < A \leq 100$	Cuenca pequeña
$1000 < A \leq 5000$	Cuenca mediana
$5000 < A \leq 100000$	Cuenca grande
$100000 < A$	Cuenca muy grande

Fuente: Los autores, 2021.

4.2.2.4 *Perímetro de la Cuenca.*

Longitud del límite exterior de la cuenca; el perímetro representa uno de los parámetros más importantes teniendo en cuenta que junto con el área de la cuenca, permite especular acerca de la forma de la cuenca, se determina en Km.

4.2.2.5 *Longitud del Cauce Principal.*

Es la longitud del río principal a donde van a drenar todos los afluentes, va desde la parte más alta de la cuenca hasta la parte más baja. Este parámetro influye en el tiempo de concentración.

Tabla 2.

Rangos de Longitud.

Rangos de longitud (km)	Clases de longitud del cauce
6,9 - 10,9	Corto
11 - 15	Mediano
15,1 - 19,1	Largo

Fuente: Los autores, 2021.

4.2.2.6 Ancho Promedio de la Cuenca (A_p).

Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal, cuya expresión es la siguiente:

Ec. 2

$$A_p = \frac{A}{L}$$

A_p = Ancho promedio de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

L = Longitud del cauce principal (km)

4.2.2.7 Factor de forma.

Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca. El factor de forma se define como:

Tabla 3.

Rango de Formas

Rango de formas K_f	Clase de formas
0.01 – 0.18	Muy poco achatada
0.18 – 0.36	Ligeramente achatada
0.36 – 0.54	Moderadamente Achatada

Fuente: Los autores, 2021.

Ec.
$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Dónde:

A = Área de drenaje en km^2 .

L = Longitud axial de la cuenca en km .

En una cuenca donde el factor forma sea bajo es probable que posea zonas con pendientes mayores y cuencas con factor forma alto pueden indicar cuencas con sumideros o poca pendiente (Monsalve, 1995)¹.

4.2.2.8 Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (k_c).

Se trata de un indicador adimensional de la forma de la cuenca, obtenida relacionando el perímetro de la cuenca con el área de un círculo igual al de la cuenca (círculo equivalente).

Teniendo en cuenta la relación anterior, el índice de compacidad se define como:²

¹ QUIJANO, Juan. Parámetros morfométricos, geomorfológicos y correlación estructural en cinco cuencas hidrográficas de la cuenca Amagá. Trabajo de grado Medellín. Universidad EAFIT 2014. 11 p.

² ALGECIRAS, Karen y BERMUDEZ, Yenifer. Determinación del caudal máximo para diseño del puente en la quebrada Tuaneca sobre la vía Siachoque – Toca. Trabajo de grado Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2016. 18 p.

Ec. 4

$$K_c = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P = Perímetro de la hoya, en km

A = Área de drenaje de la hoya, en km²

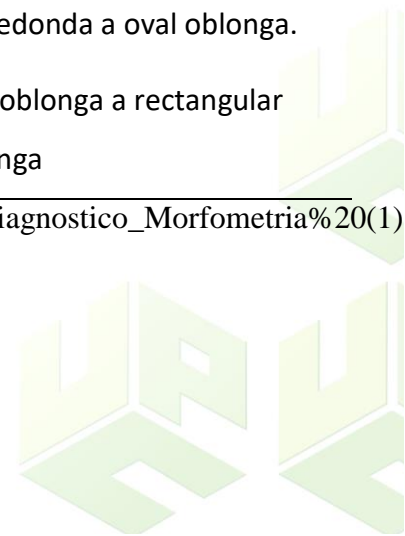
Cuanto más irregular sea la cuenca mayor será su coeficiente de compacidad; a partir de éste se define la forma de la cuenca tomando como criterio los rangos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Características de la Cuenca de Acuerdo con el Valor kc.

Valores de K_c	Forma
<i>K_c 1.00 - 1.25</i>	Cuenca redonda a oval redonda.
<i>K_c 1.25 - 1.50</i>	Cuenca de oval redonda a oval oblonga.
<i>K_c > 1.50</i>	Cuenca de oval oblonga a rectangular oblonga

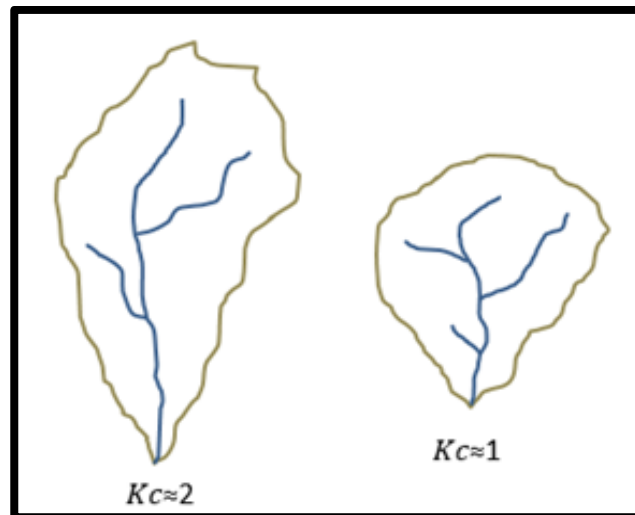
Fuente: file:///C:/Users/hp/Downloads/7_CapituloI_Diagnostico_Morfometria%20(1).



Cuando el valor de K_c tiende a uno, la cuenca tendrá una forma casi circular. Esto significa que las crecientes tendrán mayor coincidencia debido a que los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenca serán iguales. El tiempo de concentración consiste en la duración necesaria para que una gota de agua que cae en el punto más alejado de la cuenca llegue al punto de salida o desembocadura. En cuencas muy alargadas, el valor de K_c sobrepasa a 2 (ver Figura 2).

Figura 2.

Comparación de la Forma de Cuencas Según Valores del Coeficiente de Compacidad.



Fuente: http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26

4.2.2.9 Índice de Alargamiento.

Muestra el comportamiento de la forma de la cuenca, esta vez no respecto a su redondez sino a su tendencia a ser de forma alargada; este parámetro relaciona la longitud axial con el ancho máximo de la cuenca. Carvajal, (2010)

Se define como:

$$\text{Ec. 5} \quad I_a = \frac{Lm}{l}$$

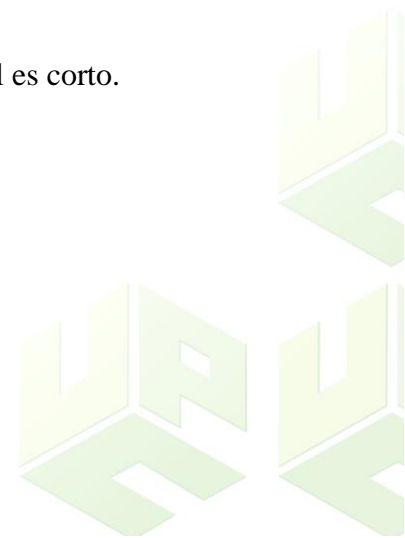
Dónde:

Lm = Longitud maxima, km.

l = Ancho maximo, km.

Éste índice permite predecir el movimiento del agua en los drenajes y potencia erosiva o de arrastre; se rige a partir de los siguientes parámetros:

- $I_a > 1$: Cuenca alargada.
- $I_a \approx 1$: Cuenca achatada y por lo tanto el cauce principal es corto.



4.2.3 *Parámetros Hidrográficos.*³

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales y sub-superficiales de la cuenca.

4.2.3.1 *Orden de los Cauces.*

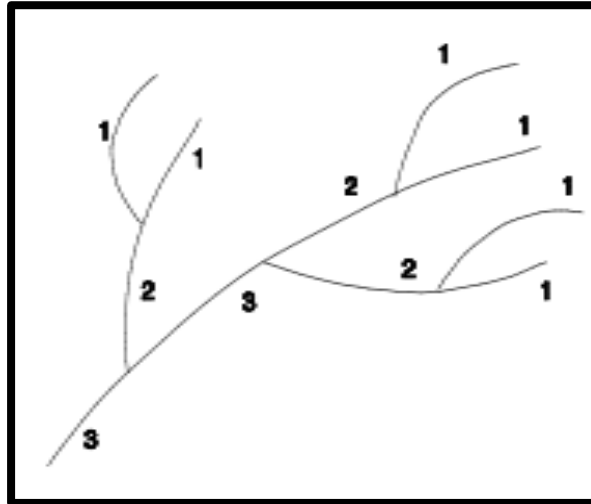
El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos para realizar tal clasificación. En este caso se optó por el método de Horton-Strahler, el cual se fundamenta en los siguientes criterios: Se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se une, resulta una corriente de orden dos. De manera general, cuando dos corrientes de orden (i) se unen, resulta una corriente de orden (i+1). Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden.

³ ROJO, Julian. Morfometría de cuencas. Recuperado Marzo del 2014

<http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>

Figura 3.

Orden de los cauces.



Fuente: ROJO, 2014.

4.2.3.2 Ley de Bifurcación.

Utilizando la jerarquización de Horton, Strahler (1969) propuso las razones de la bifurcación.

Ec.

$$Rb = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

N_i = corresponde al número de corrientes (o cauces) de orden i

Es importante para la realización de un proyecto vial, tener en cuenta los estudios hidrológicos ya que, para la construcción de una obra hidráulica en el campo de la ingeniería civil, el elemento dominante es el agua.

4.2.3.3 Ley de longitudes.

Una vez establecidos los cauces de orden uno, se miden las longitudes de dichas corrientes.

4.2.3.4 Densidad de drenaje (Dd).

Este índice relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas.

$$\text{Ec. 6} \quad D_d = \frac{\text{longitud de la corriente (Km)}}{\text{area de la cuenca (Km}^2\text{)}}$$

Con el fin de catalogar una cuenca como bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de densidad de drenaje próximo a 0.5 km/km² o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje.

4.2.3.5 Pendiente del cauce principal.⁴

La pendiente de la corriente principal muestra aquella inclinación respecto a la horizontal con la cual escurre el agua.

⁴ Monsalve Sáenz German (1995) Hidrología en la ingeniería

<http://Repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3885/1/proyecto%20FINAL.pdf>

a) **Pendiente media (S1):**

Es la diferencia total de elevación del lecho del río dividido entre su longitud entre esos puntos

b) **Pendiente media ponderada (S2):**

Es un valor más razonable. Para calcularlo se traza una línea, tal que el área comprendida entre esa línea y los ejes coordenados sea igual a la comprendida entre la curva del perfil del río y dichos ejes.

$$\text{Ec.} \quad S = \frac{\text{diferencia de alturas}}{\text{Distancia vertical}} * 100$$

4.2.3.6 Pendiente de la Cuenca.

Es la variación de la inclinación de una cuenca. Su determinación es muy importante pues define el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo: en zonas de alta pendiente son más ocurrentes los problemas de erosión, mientras que en regiones planas aparecen principalmente problemas de drenaje y sedimentación. (Carvajal, 2010)

Esta característica afecta directamente la velocidad con la que se da la escorrentía superficial; es decir el tiempo de formación que lleva el agua de lluvias para concentrarse en el cauce principal. El método a utilizar para la obtención de la pendiente del terreno de la cuenca, será el de las cuadrículas asociadas a un vector; Este método consiste en determinar la distribución porcentual de las pendientes de los terrenos por medio de una muestra estadística de

las pendientes normales a las curvas de nivel de un número grande de puntos dentro de la hoya.

(German, 2016)

Los pasos de este método son los siguientes:

- Según el número de puntos a definir (por lo menos 50 puntos), trazar cuadrículas sobre el área de drenaje con espaciamiento adecuado. Cada uno de los puntos de intersección de las cuadrículas, define una pendiente del terreno determinada.
- Trazar la línea de nivel correspondiente a cada punto, por medio de las líneas de nivel inmediatamente inferior o superior. Este paso se ejecuta por interpolación
- Trazar una tangente a la línea de nivel por ese punto sobre la proyección horizontal o área plana de la cuenca.
- Trazar una perpendicular a la tangente trazada anteriormente, también sobre la proyección horizontal o área plana de la cuenca.
- Sobre la perpendicular trazada en el punto anterior trazar un perfil del terreno. Este perfil define la pendiente correspondiente al punto en consideración.
- Teniendo la pendiente de todos los puntos definidos por las cuadrículas, se clasifican los valores por intervalos de clase. El número de tales intervalos está en relación con el número n de puntos obtenidos, pero en general no debe ser menor de un valor comprendido entre 5 y 10. Según la ley de Sturges en número de intervalos k de una muestra de tamaño n es:

Ec.
$$k = 1 + 3.3 \log \log n$$

Con un tamaño de intervalo de clase $C = \frac{R}{K}$, en donde R es el rango de la muestra, igual al valor máximo menos el valor mínimo y K es el número de intervalos de clase de la pendiente.

4.2.3.7 Pendiente media de la cuenca.

Para hallar los valores respectivos que den como resultado la pendiente media; se aplican métodos estadísticos que se relacionan en una tabla de ocurrencias y frecuencias acumuladas, presentando finalmente la curva de distribución de pendientes, donde se acostumbra dejar como ordenadas las pendientes y como abscisas las frecuencias acumuladas. (German, 2016)

$$\text{Ec. } \textit{pendiente media} = \frac{\sum_{i=1}^K (\# \textit{de ocurrencias}_i * \textit{pendiente media}_i)}{\sum_{i=1}^K \# \textit{de ocurrencias}_i}$$

En la siguiente tabla se aprecia la clasificación de las cuencas hidrográficas según su pendiente media:

Tabla 5.

Tipo de Relieve Según la Pendiente.

Pendiente media (%)	Tipo de Relieve	Símbolo
0-3	Plano	P ₁
3-7	Suave	P ₂

7-12	Medianamente accidentado	P ₃
12-20	Accidentado	P ₄
20-35	Fuertemente accidentado	P ₅
35-50	Muy fuertemente accidentado	P ₆
50-75	Escarpado	P ₇
>75	Muy escarpado	P ₈

Fuente: Los autores, 2021.

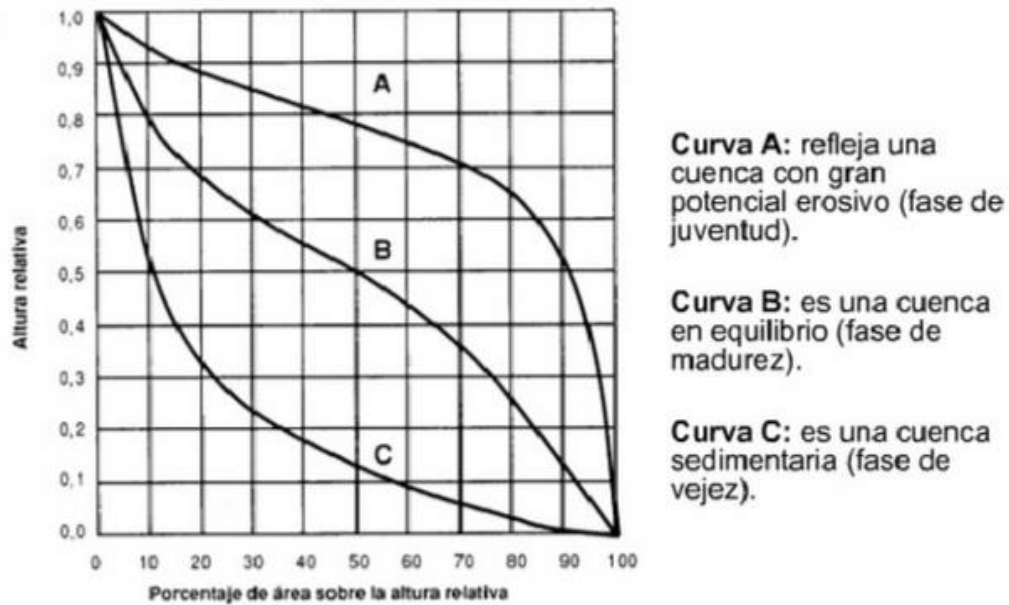
4.2.3.8 Curva Hipsométrica.

Es la representación gráfica del relieve de una hoya. Representa el estudio de la variación de la elevación de los terrenos de la hoya con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser representada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima o por debajo de varias elevaciones. Cristian, (2015).



Figura 4.

Curva Hipsométrica.



Fuente: <https://ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/>

4.2.4 Determinación del Caudal.

Para el cálculo del caudal de creciente se dispone de diversos métodos, en este caso se utiliza el Método Racional

4.2.4.1 Método Racional.

El método racional forma parte de las metodologías hidrológicas empíricas aplicadas a cuencas pequeñas, que el INVIAS (2009) define como cuencas con áreas menores a 2.5 km².

Este método relaciona la intensidad de la lluvia máxima con un coeficiente de escorrentía propio

del tipo de suelo y el área de drenaje hasta el punto en que se quiere determinar el caudal. Para estimar caudales máximos a través de este método, se considera que la lluvia máxima cae con una intensidad uniforme en toda la cuenca y que el valor del coeficiente de escorrentía representa toda el área de la cuenca (Vélez Upegui, y otros., 2013).

A continuación, se explicarán cada uno de los parámetros que corresponden a la ecuación del método racional:

$$\text{Ec.} \quad Q = 0,278.C.I.A$$

Donde Q es el caudal máximo en m³/s para el periodo de retorno T dado, C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad en mm/h, A es el área que está dada en km².

4.2.4.2 Coeficiente de Escorrentía.

Este coeficiente representa la fracción de agua del total de lluvia precipitada que realmente genera escorrentía superficial una vez se ha saturado el suelo por completo (Ibáñez Asencio, et al, 2015), este factor depende de numerosos factores: tipo de precipitación, cantidad, distribución de tiempo, humedad de suelo, del tipo de terreno.



Tabla 6.

Valores del coeficiente de escorrentía.

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82
Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.			

Fuente. INVIAS, 2009.

4.2.4.3 Periodo de Retorno.

Según el INVIAS (2009), se deberán adoptar los siguientes periodos de retorno para el cálculo de caudales máximos instantáneos anuales en obras de drenaje vial:

Tabla 7.

Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial.

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Caída ²	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: INVIAS, 2009.

4.2.4.4 Tiempo de Concentración.

Para la estimación del tiempo de concentración se pudo emplear diferentes expresiones que lo relacionan con otros parámetros propios de la cuenca y recomienda emplear varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica, considerando apropiado incluir varias estimaciones diferentes que correspondan con las características de la zona de estudio.

Tabla 8.

Ecuaciones Empíricas del Tiempo de Concentración.

<p>Ecuación de Kirpich</p> $T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$ <p>T_c: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) del cauce principal, en metros por metro (m/m).</p>	<p>Ecuación de V.T. Chow</p> $T_c = 0.273 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$ <p>T_c: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m).</p>
<p>Ecuación de Témez</p> $T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$ <p>T_c: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).</p>	<p>Ecuación de Johnstone y Cross</p> $T_c = 2.6 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.5}$ <p>T_c: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente total del cauce principal, en metros por kilómetro (m/km).</p>
<p>Ecuación de Ventura - Heras</p> $T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.75}$ <p>T_c: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).</p>	<p>Ecuación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos</p> $T_c = 0.28 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$ <p>T_c: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m).</p>
<p>Ecuación de Giandotti</p> $T_c = \frac{4 A^{0.5} + 1.50 L}{25.3 (L S)^{0.5}}$ <p>T_c: Tiempo de concentración, en horas (h). A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km²). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m).</p>	<p>Ecuación de SCS – Ranser</p> $T_c = 0.947 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ <p>T_c: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente principal, en metros (m).</p>

Fuente. INVIAS, 2009.

4.2.4.5 Intensidad (mm/h).

La intensidad se obtiene mediante la gráfica de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF), a partir del tiempo de concentración en minutos.

Ec.
$$I = \frac{P}{D}$$

Donde:

I: Intensidad de precipitación en mm/h

P: profundidad de lluvias en mm o pulg

D: duración en horas

4.2.4.6 Curva IDF

La Curva Intensidad Duración Frecuencia, representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, para una duración (D) determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 minutos y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno. (IDEAM 2017)

Témez (1978), el cual relaciona las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno, con el propósito de graficar la relación entre las tres variables (Intensidad- Duración – Frecuencia), y cuyo esquema de la curva IDF es el siguiente:

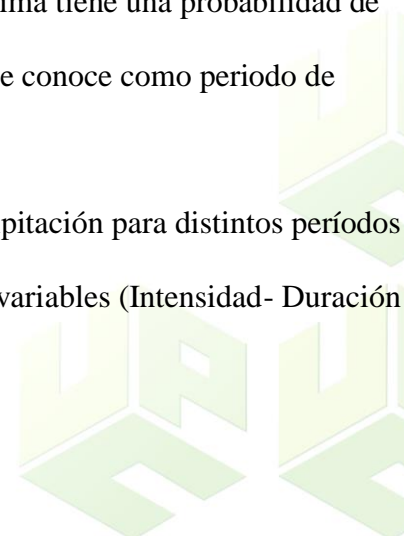
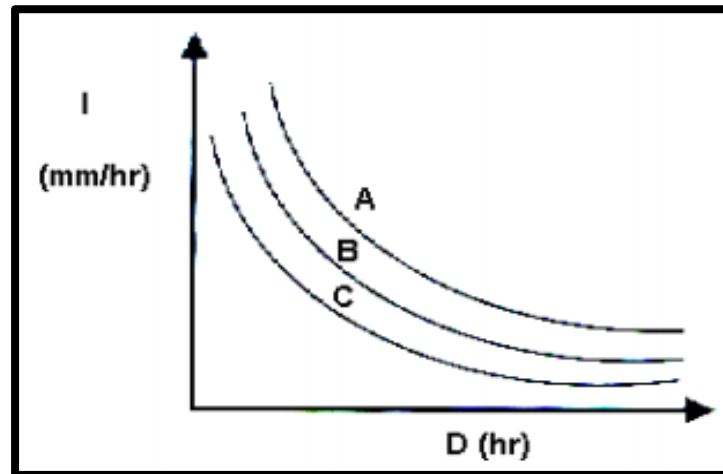


Figura 6.

Curva IDF. Intensidad Duración Frecuencia



Fuente. sociedad estándares de ingeniería para aguas y suelos Ltda.

4.2.5 Vías.

Sistema de transporte o comunicación entre dos lugares. También se denomina vía a toda calle, carretera o camino abierto al uso público, así como al camino privado utilizado por una colectividad indeterminada de usuarios.

4.2.5.1 Clasificación de las Vías.

Se clasifican según su funcionalidad y el tipo de terreno (INVIAS 2008, actualizada el 01 SEPTIEMBRE 2016).

4.2.5.1.1 Según su Funcionalidad.

Primarias: Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países. Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto. Las carreteras consideradas como Primarias deben funcionar pavimentadas.

Secundarias: Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria. Las carreteras consideradas como secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.

Terciarias: Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías secundarias.

4.2.5.1.2 Según el Tipo de Terreno.

Terreno plano

Tiene pendientes transversales al eje de la vía menores de cinco grados (5°). Exige el mínimo movimiento de tierras durante la construcción por lo que no presenta dificultad ni en su trazado ni en su explanación. Sus pendientes longitudinales son normalmente menores de tres por ciento (3%).

Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos.

Terreno ondulado

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre seis y trece grados ($6^\circ - 13^\circ$). Requiere moderado movimiento de tierras durante la construcción, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales se encuentran entre tres y seis por ciento (3% - 6%)

Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de las de los vehículos livianos, sin que esto los lleve a operar a velocidades sostenidas en rampa por tiempo prolongado.

Terreno montañoso

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre trece y cuarenta grados ($13^\circ - 40^\circ$). Generalmente requiere grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por la cual presenta dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre seis y ocho por ciento (6% - 8%).

Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a velocidades sostenidas en rampa durante distancias considerables y en oportunidades frecuentes.

Terreno escarpado

Tiene pendientes transversales al eje de la vía generalmente superiores a cuarenta grados (40°). Exigen el máximo movimiento de tierras durante la construcción, lo que acarrea grandes dificultades en el trazado y en la explanación, puesto que generalmente los alineamientos se encuentran definidos por divisorias de aguas. Generalmente sus pendientes longitudinales son superiores a ocho por ciento (8%).

Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en rampa que en aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas y en oportunidades frecuentes."

4.2.6 Obras Hidráulicas

También llamadas obras mayores (cunetas, puente, pontón, box culvert). Para obtener una estructura económica y segura, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en el Manual de Drenaje para Carreteras (2009), sugiere analizar los siguientes aspectos en su localización.

El lugar de implantación de la obra debe ser estable, es decir, que el río no modifique su cauce con efectos negativos para la estructura.

Es deseable localizar el puente en un tramo del cauce relativamente rectilíneo con un cauce principal estrecho, pero de gran capacidad hidráulica, sin desbordamientos.

Es deseable, también, que el puente sea normal a la corriente. En caso de presentar un sesgo, los estribos y las pilas se deben alinear de manera que ofrezcan la menor resistencia al flujo.

4.3 MARCO CONCEPTUAL (Glosario)

HIDROLOGÍA: Ciencia que estudia la circulación, distribución y las propiedades de las aguas de la tierra y su atmósfera.

HOYA: Es el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces.

ÁREA DE DRENAJE: Área medida en un plano horizontal, que está encerrado por una divisoria de drenaje.

CUENCA: Es una depresión en la superficie de la tierra, un valle rodeado de alturas. El término cuenca hidrográfica tiene un sentido más amplio, siendo una parte de la superficie terrestre cuyas aguas fluyen hacia un mismo río o lago.

CAUDAL: Tasa de flujo de una corriente por unidad de tiempo, generalmente expresada en metros cúbicos por segundo.

CAUDAL DE DISEÑO: Valor máximo de flujo para la que una estructura hidráulica está diseñada y por lo tanto se espera que no exceda las dimensiones adoptadas.

CAUDAL MÁXIMO: Caudal producido por un cuerpo de agua en un evento de creciente.

PARÁMETROS MORFOMETRICOS: La morfometría de una cuenca hidrográfica permite evaluar el funcionamiento de un sistema hidrológico en base a un conjunto de estimaciones lineales, de relieve y superficie.

CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF): Curvas que relacionan la intensidad de precipitación contra la frecuencia (periodo de retorno) y el tiempo de duración de la lluvia

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN: Tiempo que tarda el agua en llegar desde el punto más lejano hasta un punto de descarga.

INTENSIDAD: Tasa de precipitación sobre la cuenca, por lo general expresado en milímetros por hora.

PERIODO DE RETORNO: Es una representación usada comúnmente para presentar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinado

OBRAS MAYORES: Son las estructuras que forman parte del drenaje transversal de la vía y permiten cruzar un obstáculo natural, el cual puede ser el curso de una quebrada o un río (MTC, 2013).

CARRETERA: Infraestructura del transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios

sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.

PAVIMENTO: Conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la Subrasante de una vía y deben resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñado la estructura y el efecto degradante de los agentes climáticos.

CUNETAS: Es una zanja o canal que se abre a los lados de las vías terrestres de comunicación (caminos, carreteras, autovías...) y que, debido a su menor nivel, recibe las aguas pluviales y las conduce hacia un lugar que no provoquen daños o inundaciones.

BOX CULVERT: Estructura que puede ser utilizada como paso de agua, como túnel, para contener taludes e inclusive para utilizarse como puente.

PUENTE: Estructura de drenaje cuya luz mayor, medida paralela al eje de la carretera, es mayor de diez metros (10 m).

PONTON: Estructura de drenaje cuya luz medida paralela al eje de la carretera es menor o igual a diez metros (10m).

TOPOGRAFÍA: Es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalles.

PRESIONES DE POROS: Se refiere a la presión que ejerce el agua subterránea atrapada en el suelo o en la roca, en huecos situados entre el agregado llamados poros.

SUBPRESIONES DE FLUJOS: La supresión es una fuerza ascendente producida por el agua sobre una estructura, elemento de contención o cimentación sumergida.

VÍA: Sistema de transporte o comunicación entre dos lugares

RECURSO HÍDRICO: Cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas.

4.4 MARCO CONTEXTUAL⁵

4.4.1 Ubicación

Colombia, oficialmente República de Colombia, es un país soberano situado en la región noroccidental de América del Sur. Es una república organizada políticamente en 32 departamentos descentralizados y el Distrito Capital de Bogotá, sede del gobierno nacional.

Limita al Oriente con Venezuela y Brasil, al Sur con Perú y Ecuador y al Noroccidente con Panamá; en cuanto a límites marítimos, colinda con Panamá, Costa Rica, Nicaragua,

⁵ Plan de desarrollo municipal Curumaní (2016 – 2019) “Estamos haciendo el cambio sociedad, paz y desarrollo” recuperado de http://curumanicesar.micolombiadigital.gov.co/sites/curumanicesar/content/files/000061/3008_plan-de-desarrollo-municipal--20162019.pdf

Honduras, Jamaica, Haití, República Dominicana y Venezuela en el mar Caribe, y con Panamá, Costa Rica y Ecuador en el océano Pacífico.

Dentro de sus departamentos se encuentra el departamento del Cesar, su capital Valledupar. Está ubicado al noreste del país, en las regiones andinas y Caribe, limitando al norte con La Guajira, al este con Venezuela, al sureste con Norte de Santander, al sur con Santander, al suroeste con Bolívar y al oeste con Magdalena. Consta de 25 municipios

El Municipio de Curumaní, está localizado en la parte central del departamento del César sobre el piedemonte y la serranía del Perijá, Limita al norte con Chiriguana, al este con Venezuela y El Carmen (Norte de Santander), al sur y oeste con Chimichagua. Por consiguiente, los corregimientos de Sabanagrande y Guaimaral están localizados en la región suroccidental del municipio de Curumaní a 8 km y 15 km respectivamente de la cabecera municipal, sobre la vía que conduce al corregimiento de Champán desde la troncal de oriente.



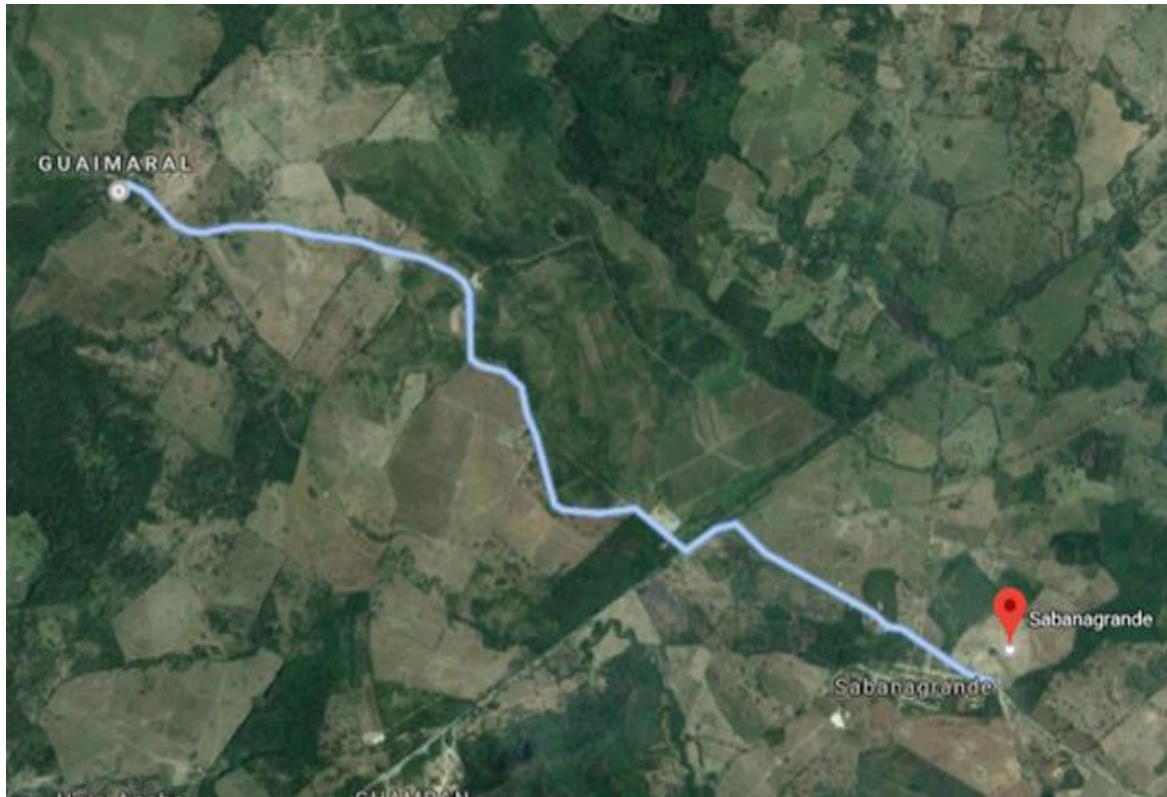
Figura 7.

Localización de Curumaní en Cesar.



Figura 8.

Descripción del Tramo que Comunica a Sabanagrande y Guaimaral



Fuente. <http://mapasamerica.dices.net/colombia/mapa.php?nombre=Corregimiento-Sabanagrande&id=74602>

4.4.2 Geografía

Geográficamente se encuentra referenciado dentro de las siguientes coordenadas planas de SABANAGRANDE con E= 1051132 y N= 1509115 y GUAIMARAL con coordenadas E=

1045817 y N= 1512448, sobre una altura a nivel del mar que varía entre los 36 y 69 msnm en su cabecera y temperaturas entre 28°C y 40°C.

4.4.3 Hidrografía

El sistema hidrológico de Curumaní forma parte de la ciénaga de Zapatosa cuya área es de 6.376 Km², cubriendo los departamentos del Cesar y Magdalena. La red hidrográfica principal está construida por los ríos Animito, Anime y Simití; las quebradas de San Pedro, Anime y Quiebra dientes; y las ciénagas de Zapatosa, Saloa y Guaimaral. Siendo compartida esta red hidrográfica con otros municipios tanto del Departamento del Cesar como del Magdalena, por tal razón las acciones a ejecutar en estas áreas deben ser acordadas con las demás administraciones involucradas.

4.4.4 Clima

Presenta una temperatura promedio anual de 28°C, con máxima de 39°C y mínima de 22°C, dependiendo del régimen de lluvia anual. Esto permite clasificar la región dentro del piso térmico cálido ardiente. El régimen de lluvias que se presenta en la zona, de acuerdo con los datos pluviométricos es bimodal; es decir, existen dos (2) períodos lluviosos los cuales registran una precipitación media anual de 1.700 m; y dos (2) períodos secos al año. Los períodos lluviosos ocurren regularmente entre los meses de abril a junio y de agosto a noviembre; el período menos lluvioso tiene lugar en los meses de diciembre a marzo, siendo el más seco enero.

4.4.5 Ecología

La vegetación de Curumaní se corresponde a bosque húmedo pre montañoso que se encuentra entre 1000 y 1800 metros de altura. Las partes más altas de la serranía conserva las siguientes especies representativas: carreto, tananeo, matarraton montañoso, trementino, hurapo, laurel, comino, guayacán, yaya, palma de estera, etc.

4.4.6 Fauna

Producto de tala indiscriminada y de la depredación del hombre, en este como en muchos municipios del país existen especies en vía de extinción, tales como el oso de anteojos, jaguar, venados, mico maicero, tigrillo, ñeque, zaino, puerco espino, conejos, armadillo, perica ligera, gallinetas, babillas, ardillas, iguanas, galápagos y una gran variedad de peces como el Bocachico, Sardinas, Mojarra, Coroncoro y aves Canoras de varias especies al igual que animales domésticos como las Gallinas, los Burros, Mulos Vacas y Cerdos entre otros.

4.4.7 Flora

La topografía del municipio de Curumaní es variada, hecho que determina de igual manera la abundancia de especies, ej: tenemos que en el bosque seco y tropical se hallan árboles como la Algarroba, Dormidera o Zarsa, Peralejo, Centello, Polvillo, Pacito, Totumo, Cañafistula, Gusanero y Muñeco, entre otros. En la parte más alta de la serranía tenemos: carreto, tananeo, matarratón montañoso, trementina, hurapo, laurel, guayacán, comino, yaya y palma de estera entre otros. en la parte humedad y plana tenemos sembrados de pancoger como la yuca, el plátano, guineo, el maíz, el frijol, así con el achiote montañoso, bijagüillo, orejero, varablanca,

guarumo, león coquillo, campano, mora, caracolí, guácimo, coquillo, piñón, roble, zapotillo, guáimaro, hiraca, bijao, palma de vino. En la zona baja inundable se halla el maíz tostao el mangle, el naranjuelo, el roble, guacamayo, palo prieto, etc.

4.5 MARCO LEGAL

El estudio hidrológico de las carreteras en Colombia requiere de una coordinación desde los más altos estamentos nacionales como el INVIAS (instituto nacional de vías) Constitución política de Colombia Artículos 79 y 80

De los Derechos Colectivos y del Ambiente. La Legislación aplicable a este proyecto se encuentra plasmada en la siguiente tabla:

Tabla 9.

Normatividad

NORMA	ESTABLECE
Ley 23 de 1973:	Por la cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la Republica para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente. Contiene los principios fundamentales sobre prevención y control de la contaminación del aire, del agua y del suelo.

Ley 99 de 1993	Por el cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la Gestión y Conservación del medio ambiente y los Recursos Naturales Renovables.
Ley 812 de 2003	Establece políticas de estado para la formulación de programas para el manejo integral del agua teniendo como base la conservación natural de las especies de fauna y flora.
Decreto ley 2811 de 1974 Art 312	Define cuenca u hoya hidrográfica y su delimitación. Es el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Compila en un solo cuerpo normativo todos los decretos reglamentarios vigentes expedidos hasta la fecha, que desarrollan las leyes en materia ambiental. Teniendo en cuenta esta finalidad este decreto no contiene ninguna disposición nueva, ni modifica las existentes.
Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015	
1640 de 2012	Establece los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.

Resolución 865 de 2004	Establece la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales.
Resolución Número 3482 De 2007	Por el cual se adopta el manual de drenaje para carreteras.
Resolución no. 003288 del 15 de Agosto de 2007.	Especificaciones generales de construcción de carreteras adoptadas por ministerio de transporte. Por la cual se adopta la guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura – subsector vial – como instrumento de autogestión y autorregulación.
Resolución Número 7106 De 2009	Por lo cual se adopta el manual de drenaje para carreteras.
Resolución Número 000024 de 2011	Por la cual se actualizan las Especificaciones Generales de Construcción para Carreteras.
Resolución Número 1376 De 2014	Por el cual el Ministerio de Agricultura, determina los procedimientos y competencias para la ordenación y manejo de cuencas. Ordenación y manejo de cuencas.
Acuerdo 41 de 1983	

Fuente. Los autores, 2021.

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta el objetivo general del proyecto, se determinó que la investigación presentó un método cuantitativo, debido a que ésta es una investigación que busca resolver un problema a través de la recolección de datos que permitan probar la hipótesis planteada, teniendo como base la medición numérica y el análisis estadístico.

5.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Para el análisis y desarrollo de este proyecto se planteó una metodología teórico práctico. Las actividades recurrentes al logro de los objetivos planteados son los siguientes:

5.2.1 FASE I: *Recolección de Información Primaria y Secundaria*

- **Recolección de información:** Con el fin de recopilar información necesaria para desarrollar este proyecto se recurrió a los portales web del IDEAM, INVIAS, IGAC.
- **Visita de campo:** En la visita de campo se tomaron registros fotográficos terrestres.

Además, se realizó la topografía de la zona de estudio. (VER ANEXO A)

5.2.2 FASE II: *Análisis Hidrológico*

5.2.2.1 *Determinación de Parámetros Morfológicos a Través de Análisis de Información Cartográfica.*

Por medio de planos proporcionados en el Geoportal IGAC se obtuvo una idea general de la zona de estudio ver figura 11. Teniendo la cartografía base se realiza la delimitación del área de influencia. Ver figura 12.

✓ **Obtención del DEM (Modelo de elevación digital)**

Como primera medida para la obtención del DEM a través del satélite ALOS PALSAR en la página web del ALASKA SATELLITE FACILITY se creó una cuenta, por medio de un polígono se selecciona el área objeto de estudio cubriendo toda la zona.

En la selección del DEM se hace manifiesto si el área u objeto de estudio es cubierta, si no es necesario seleccionar los DEM que cubren esta área y finalmente en el programa ArcGIS se efectúa la unión de estos DEM.

Se determinó a través del software ArcGIS. Los parámetros morfológicos como delimitación de la cuenca principal, donde se dividió en 5 microcuencas, calculando cada una de sus áreas y perímetros, identificando la longitud principal o axial de cada microcuenca. Entre los parámetros mencionados también analizamos: ancho promedio, factor de forma, índice de compacidad (Gravelius Kc), índice de alargamiento.

Una vez obtenido el DEM como insumo para desarrollar los procesos de ArcGis direcciones de flujo, acumulación de flujo y el mapa de la cuenca (en formato shape), seguimos los pasos para calcular cada uno de los índices hidrológicos:

Delimitamos la cuenca, luego aplicamos la distribución de la altura (DEM) sobre la superficie. Para realizar esto nos vamos a 3D Analyst, seguido de Functional Surface y por último Interpolate Shape. Seguido de esto en la ventana que aparece ingresamos el DEM y la cuenca delimitada en formato shape y como resultado se obtuvo un nuevo archivo de la cuenca que tiene la información de las alturas. Ver figura 15.

Cortamos los archivos: DEM, dirección de flujo y flujo acumulado exactamente con el área de la cuenca. Para ello utilizamos la función Extrac by Mask de Spatial Analyst Tools. El archivo DEM lo cortamos con “Edit DEM” de 3D Analyst – DEM Management. Ver figura 16.

Para el cálculo del área, perímetro, altura mínima, altura máxima y coordenadas de la microcuenca; Para ello abrimos la tabla de atributos de Cuenca_Interpol y agregamos cada uno de esos campos de la siguiente manera: Le dimos Clic en el botón Table Option (parte superior izquierda de la tabla de atributos) y luego seleccionamos la opción Add Field, nos Aparece una ventana donde aparecen todas las propiedades de la cuenca que podemos calcular. (VER ANEXO B)

De esta manera fuimos seleccionando cada uno de los campos de nuestro interés: Área, perímetro, Zmin, Zmax, índice de gravelius. Entonces ya agregado cada campo, dimos clic derecho sobre el mismo y seleccionamos la opción Calculate Geometry y finalmente obtuvimos los resultados correspondientes.

✓ **Análisis de información de precipitación existente:**

Se tomó la información suministrada a través de la página web del IDEAM para organizar y tabular los datos de precipitación de la estación Curumaní, para un total de 25 datos históricos a partir del año 1996 a 2020; estos datos se agruparon por precipitaciones diarias para luego sumar las precipitaciones mensuales y después por años. Una vez determinadas las precipitaciones mensuales por cada año en Excel se aplicó la fórmula de valores máximos de precipitación. (Ver Anexo C).

En relación a los datos faltantes no se presentaron dichos datos por lo tanto no se aplicó la ecuación de regresión lineal.

✓ **Definición de los periodos de retorno:**

Se definieron los periodos de retorno entre 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 años para la estación Curumaní (25020250)

✓ **Cálculo de Precipitación y Duración:**

En la metodología se consideró las siguientes actividades: primero ubicar la zona y selección de la estación que a

Los datos de precipitación se obtuvieron por medio del portal web del IDEAM, se pasaron a una plantilla en Excel donde se organizaron y tabularon. (VER ANEXO D)

Como hay carencias de información a través de las estaciones en la región cercana o próxima a la cuenca, no se utilizaron los métodos (Polígonos de Thiessen y Método de las Isoyetas) para calcular la precipitación media.

✓ **Cálculo y generación de curva IDF**

Se procede a graficar la intensidad de precipitación y la duración, mediante una plantilla generada por Excel a modo de obtener los puntos de la curva asociada a un período de retorno de 2 años. Luego, se repitió la misma operación con el período de retorno $T= 5, 10, 25, 50, 100$ y 500 para la estación Pluviográfica.

✓ **Cálculo de Tiempo de Concentración:**

De acuerdo con los parámetros morfométricos se obtiene el tiempo de concentración.

Para la estimación del tiempo de concentración se emplearon diferentes expresiones, ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica, ver tabla 8. Considerando apropiado incluir varias estimaciones diferentes que correspondan con las características de la zona de estudio.

✓ **Construcción del Hietograma:**

A partir de la construcción de la curva IDF se tomaron los valores para el desarrollo de los Hietogramas en cada periodo de retorno (2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 500) con la ecuación de intensidad que corresponde a:

I = Intensidad (mm/hr)

t = Duración de la lluvia (min)

T= Período de retorno (años)

K,m= Parámetros de ajuste

$$Intensidad = \frac{T^m}{t^n}$$

Además de los valores de profundidad acumulada con la ecuación:

$$profundidad\ acumulada = \frac{Intensidad * Duración}{60}$$

Se realizó una tabla en Excel para cada ecuación y distribución de los datos para obtener el Hietograma.

✓ **Construcción del Hidrograma:**

Este tipo de Hidrograma fue desarrollado por Victor Mockus (1950) se usa en cuencas de mediano tamaño (2.5 – 25 km²) y se basa en el análisis de un gran número de hidrogramas naturales de caudal. Se escogió para este proyecto porque nuestra microcuenca se encuentra en el rango establecido.

A partir de los valores obtenidos en los cálculos de parámetros Morfométricos, y con la ayuda de Ordenadas del Hidrograma unitario adimensional del SCS que encontramos en el Manual de Inviás para Carreteras 2009, pudimos construir la gráfica en Excel para evaluar el caudal pico en un tiempo determinado.

Primeramente, se calcula el tiempo de concentración. Seguido se procede a calcular el Tiempo pico con la siguiente ecuación: $tp = \sqrt{tc + 0.6tc}$

Teniendo en cuenta el tiempo de concentración y el tiempo pico, se procede a calcular el Gasto pico o Caudal pico con la ecuación

$$Qu = \frac{0,208 A}{tp}$$

el cual nos permitirá realizar el Hidrograma.

5.2.2.2 Determinación de parámetros hidrográficos.

✓ **Orden de los Cauces.**

Para crear nuestra red de órdenes necesitamos disponer de un mapa de direcciones de flujo y de un Raster que recorra los cauces de la zona de estudio. Teniendo el mapa Raster,

seleccionamos la herramienta de análisis espacial (Spatial Analyst Tools), luego abrimos la carpeta Hidrology y seleccionamos stream order, se despliega una ventana donde se escogen los cauces, luego el raster de direcciones de flujo y por último se le asigna un nombre a la carpeta.

✓ **Ley de Longitudes.**

Una vez establecidos los cauces de orden, se miden las longitudes de dichas corrientes de flujo, para hacer esto abrimos la ventana capa vectorial, se añade el campo, luego se escoge longitud, seguidamente seleccionamos calcular geometría de longitud, establecemos la unidad de medida en este caso en km, por último, el programa arroja el resultado para cada registro.

✓ **Densidad de Drenaje (Dd).**

Cuando ya tengo los números de orden, la longitud de los tramos, se abre la tabla de atributos, generó un nuevo campo para la sumatoria general de la longitud de los tramos. En un archivo en Excel se tienen las microcuencas con sus respectivas áreas y la longitud de cauces, se calcula la densidad de drenaje para cada microcuenca. Así obtenemos dos resultados,

✓ **Pendiente del Río Principal.**

Con el MED (Modelo de elevación digital) se convierte en un modelo de pendientes en Slope, se selecciona el modelo en porcentaje, luego que genere se utiliza en el Zonal estadísticas de tabla se selecciona el archivo

✓ **Cálculo de Tiempo de Concentración.**

Para determinar el cálculo se tuvo en cuenta la tabla 5, donde se escogieron 7 métodos, para luego promediar y obtener el resultado del tiempo de concentración.

✓ **Curva Hipsométrica.**

Con los datos obtenidos anteriormente, en el análisis Morfométrico de la microcuenca, se desarrolló la curva hipsométrica en Excel con la tabulación de las curvas de nivel, cota media, el área entre curva en Km² el porcentaje de área, acumulado, donde se utilizaron la cota media y el porcentaje de área acumulada para formar la curva a través de un gráfico con las coordenadas en X para el porcentaje de área acumulada y Y para la cota media.

5.2.3 FASE III: Cálculo de los Caudales Máximos

Para la obtención de los caudales máximos se utilizó:

✓ **El método Racional:**

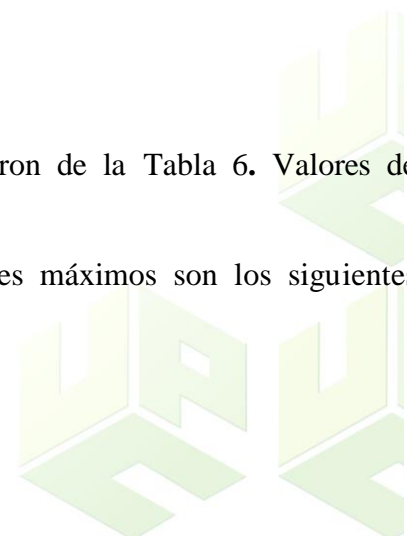
Este se aplicó debido a que es una cuenca pequeña y los resultados obtenidos así son aceptables. Para estimar caudales máximos se consideró que la lluvia cae con una intensidad uniforme en toda la cuenca y que el valor del coeficiente de escorrentía representa toda el área de la cuenca.

$$Q_p = \frac{C * I * A}{3.60}$$

$$Q = 0,278.C.I.A$$

Los valores del coeficiente de escorrentía se obtuvieron de la Tabla 6. Valores del coeficiente de escorrentía.

Los parámetros necesarios para el cálculo de caudales máximos son los siguientes: Coeficiente de Escorrentía, intensidad, área.



✓ **Método de Burkli – Ziegler:**

En este método K es igual a 0.0695, n1 es igual a 1, n2 es igual a 0.25 y n3 es igual a 0.75.

De esta manera:

$$Q = 0,0695 C I S^{0.25} A^{0.75}$$

✓ **Método de Mc Math:**

En este método K es igual a 0.0915, n1 es igual a 1, n2 es igual a 0.20, y n3 es igual a 0.80.

De esta manera:

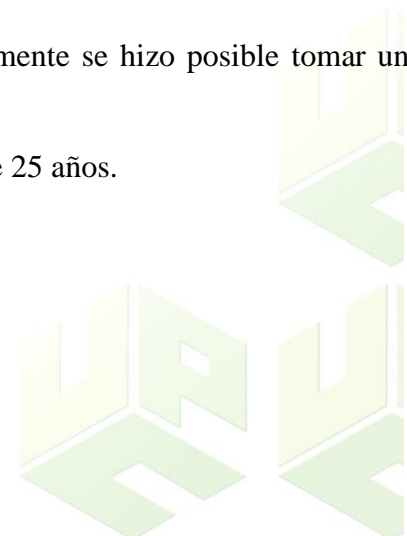
$$Q = 0,0915 C I S^{0.20} A^{0.80}$$

5.2.4 FASE IV: Determinación de los criterios de diseños

En el estudio hidrológico los criterios de diseño están basados en los periodos de retorno, para los cuales se estableció valores que proporciona el INVIAS ya que esto se recomiendan para proyectos viales, se realizaron cálculos para varios periodos de retorno, empleando los de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 años a partir de los cuales se estiman la intensidad para cada uno, así como también el caudal.

Con este conjunto de información establecido anteriormente se hizo posible tomar una decisión de que periodo de retorno se emplea para cada obra.

Para las obras menores se utilizan periodos de retorno de 25 años.



6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 FASE I: Recolección de Información Primaria y Secundaria.

En el municipio de Curumaní, el clima es muy variado los veranos son cortos, bochornosos y secos; los inviernos son cortos, muy calurosos puede durar de 2 a 4 meses, también mojados y durante todo el año se puede ver nublado; aunque los días más despejados se pueden ver durante los meses de diciembre a marzo. En cuanto a la temperatura durante el transcurso del año generalmente varía de 24 °C a 37 °C y rara vez baja a menos de 22 °C o sube a más de 40 °C. La altitud media es de 112 m.s.n.m. cuenta con una superficie total de 890 Km²

El régimen de lluvias que se presenta en la zona, de acuerdo con los datos pluviométricos es bimodal; es decir, existen dos (2) períodos lluviosos los cuales registran una precipitación media anual de 1700 m; y dos (2) períodos secos al año. Los períodos lluviosos ocurren regularmente entre los meses de abril a junio y de agosto a noviembre; el período menos lluvioso tiene lugar en los meses de diciembre a marzo, siendo el más seco enero.

Tabla 10.

Lista de Chequeo de Obras en la Vía.

N°	OBRA HIDRAULICA	LOCALIZACIÓN	DAÑOS ESTRUCTURALES	OBSERVACIONES
1	Alcantarilla (tipo Pontón)	Tramo 2 del corredor vial	Ninguna	Obstrucción por vegetación.

Fuente. Los autores, 2021.

Con el reconocimiento visual del tramo de estudio se encontró que la vía no cuenta con drenaje longitudinales y se evidencia que hay corrientes de agua que se comportan de manera intermitente y que atraviesan la misma. Ésta solo cuenta con una alcantarilla la cual presenta serios problemas de obstrucción por vegetación, situación que evidencia la poca existencia de obras de mantenimiento como cunetas u obras de arte y conservación que permitan que se drene el agua de la vía.

El tramo vial es interceptado por la línea férrea que viene de Bogotá a Santa Marta y que se encuentra en el KM 0+020 SEGUNDO TRAMO

Figura 9.

Alcantarilla.



Fuente. Los autores, 2021.

Una de las características que forma parte del sistema económico es el cultivo de palmas a los lados de la carretera siendo una fuente de ingresos a las comunidades aledañas. En el tema ambiental las expansiones de los cultivos de palma también generan un impacto negativo ya que afecta por erosión y compactación al suelo, también produce contaminación a las fuentes hídricas y disminución de las mismas producto de las desviaciones que se hace para satisfacer las necesidades del cultivo (zanjas). Contaminación de los terrenos por el uso de insumos químicos y desechos sólidos.

Figura 10.

Cultivo de Palmas de Corozo.



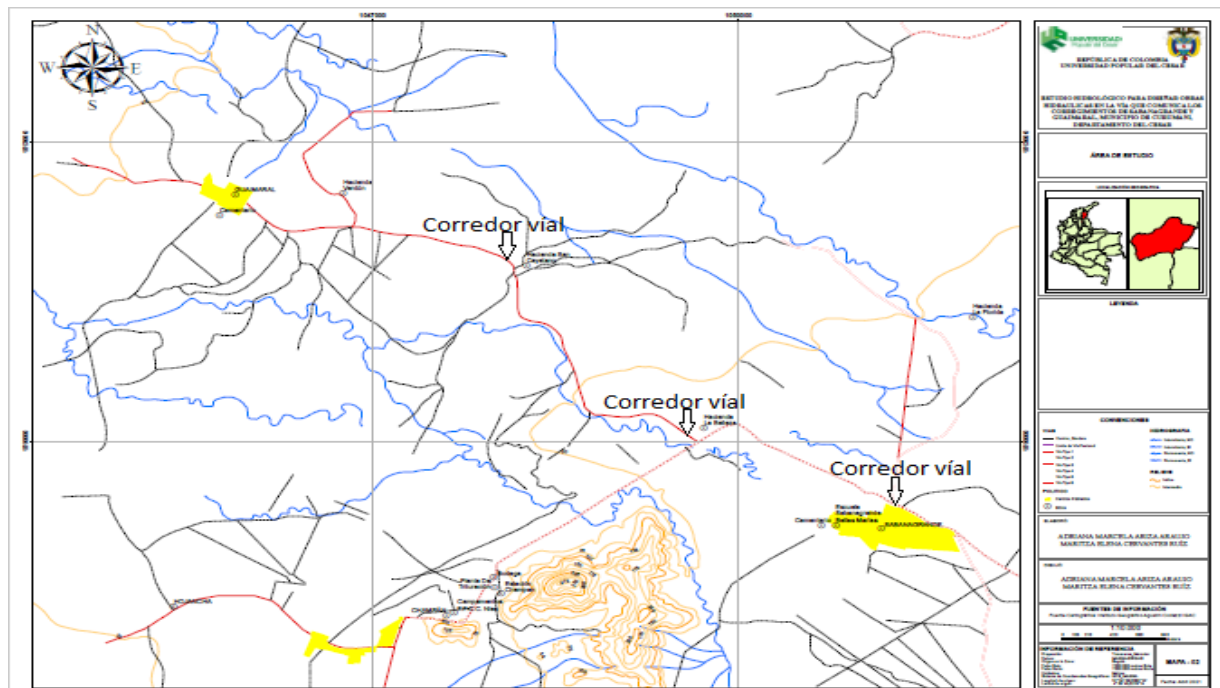
Fuente. Los autores, 2021.

6.2 FASE II: Análisis Hidrológico.

A través de planchas generadas por el IGAC, se obtuvo el plano con el área de influencia del proyecto, trazando el corredor vial de Sabanagrande - Guaimaral como se muestra en la figura 11 de color rojo; también se muestra un relieve de color naranja que identifica puntos del terreno con una misma altura con respecto al nivel del mar y el color amarillo representa a los corregimientos de Sabanagrande y Guaimaral. Ver figura 11 y 12.

Figura 11.

Área de Estudio.

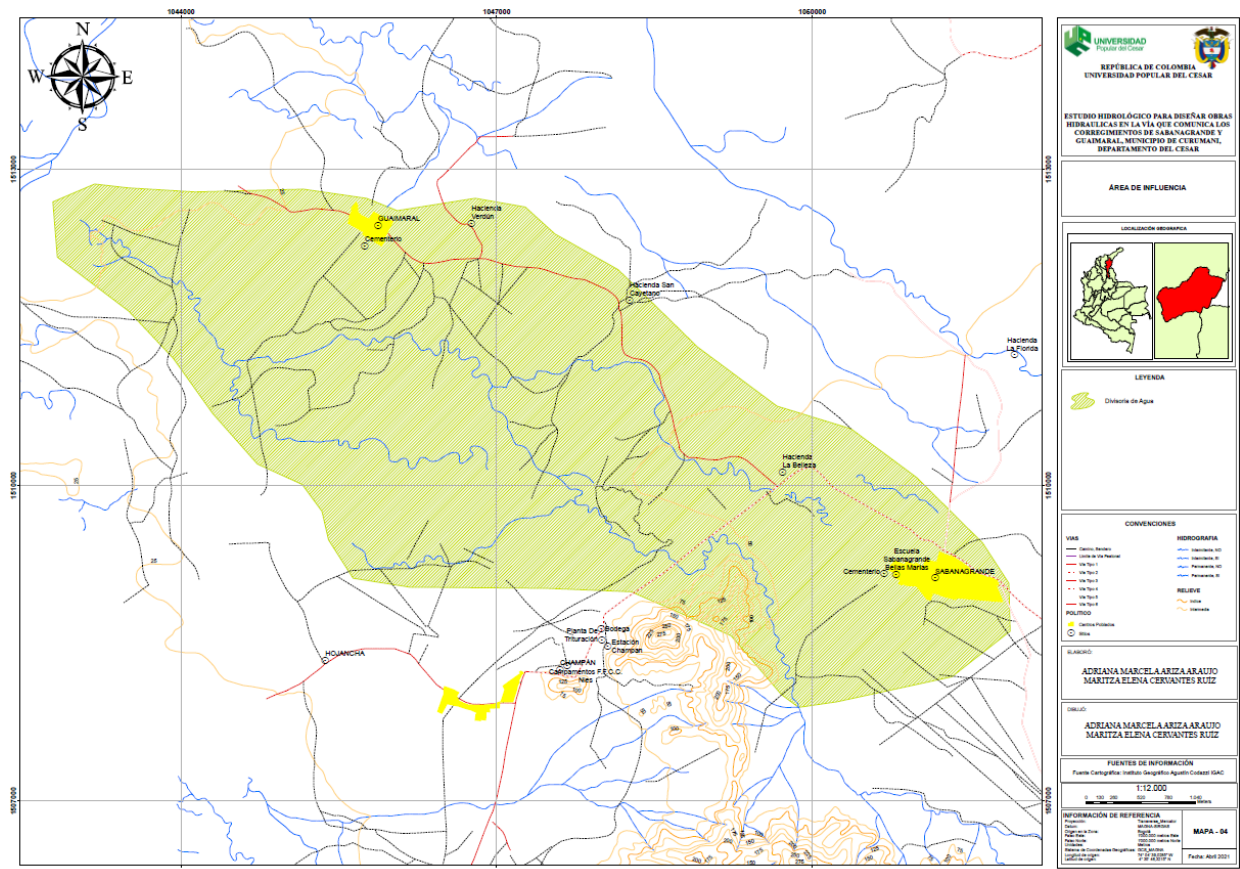


Fuente. Los autores, 2021.

Nota: la plancha se encuentra a 1:10000. Esta información es una cartografía base a escala 1:25000 del año 2017 del IGAC

Figura 12.

Delimitación del área de influencia.



Fuente. Los autores, 2021.

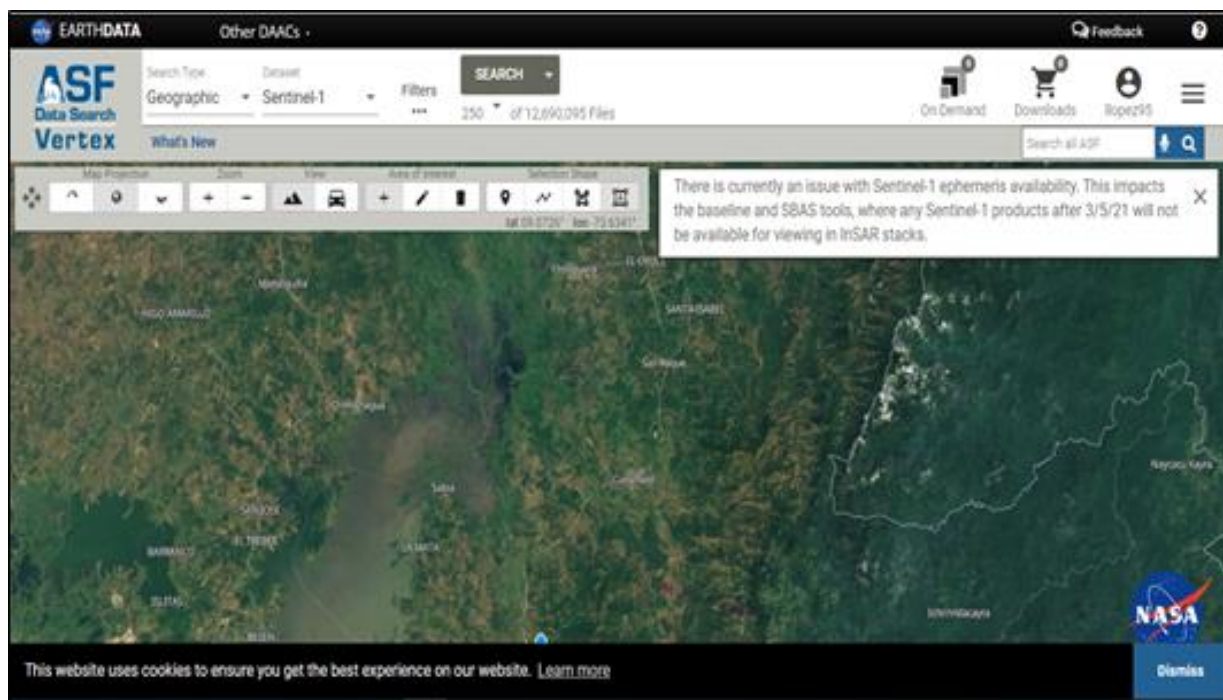
Nota: la plancha se encuentra con una escala 1:12000



Una vez conocida el área de influencia obtuvimos el DEM (modelo de elevación digital), el cual es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno que se empleó para determinar las características morfológicas. En las siguientes figuras 13 y 14 está representado el proceso de cómo se obtiene el modelo de elevación.

Figura 13.

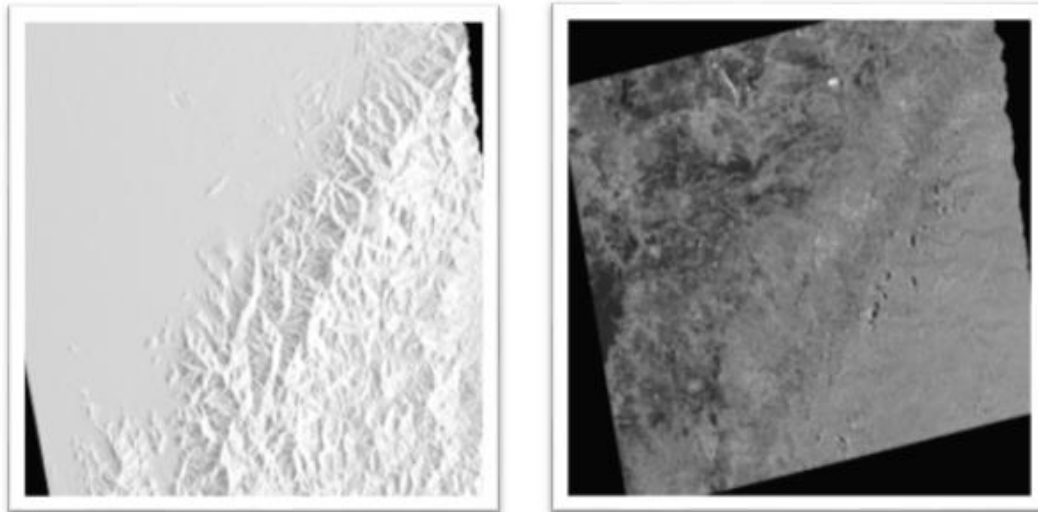
Obtención de Modelo de Elevación Digital por ALASKA PALSAR.



Fuente. ALOS PALSAR Global Radar Imagery, 2006-2011

Figura 14.

Imágenes de Día y Noche de la Zona de estudio por Alos Palsar



Fuente. ALOS PALSAR Global Radar Imagery, 2006-2011

Nota: Los datos PALSAR provienen de múltiples modos de observación con polarización variable, resolución, ancho de franja y ángulo fuera del nadir. En la figura 14 produjo imágenes de observaciones detalladas de día y de noche para todo tipo de clima, así como interferometría de repetición.

Teniendo en cuenta el modelo de elevación digital como primer paso del análisis hidrológico, procedimos a utilizar el programa Arcgis donde se hizo la distribución de altura sobre la superficie como se muestra en la figura 15.

La representación refleja el relieve mediante valores numéricos que representan la altura. Se puede inferir que la mayor altura se encuentra en el corregimiento de Sabanagrande con una intensidad de color marrón y va descendiendo hacia el corregimiento de Guaimaral con colores que van desde amarillo a verde, es decir la zona más baja.

Como segundo, la delimitación de la cuenca se realizó en base a criterios de la red de drenaje superficial, con el SIG ArcGIS aplicando un procedimiento de carácter numérico y natural el cual sigue la dirección del drenaje del agua. Ver figura 16



Figura 17.

Delimitación de la Cuenca de Estudio.

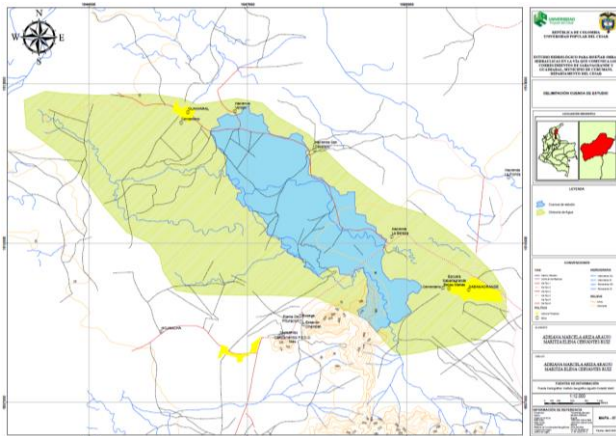
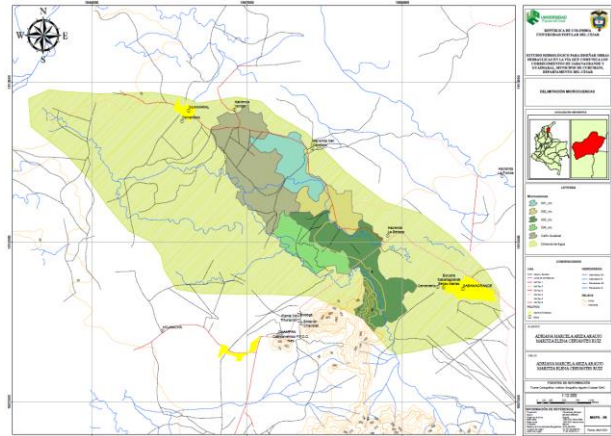


Figura 18.

Delimitación de la Cuenca y sub cuencas.



Fuente. Los autores, 2021.

Por tanto, ya delimitadas la cuenca y sub cuencas en ArcGis se determinaron los parámetros Morfométricos:



Tabla 11.

Parámetros Morfométricos de la Microcuenca General.

<i>Nombres</i>	Área (km ²)	Longitud axial	Perímetro (Km)	Ancho promedio	Factor de forma	Coefficiente de compacidad	Pendiente Ponderada	Longitud de cauces km
<i>Microcuenca Caño Guadual</i>	1,91	4,58	9,81	0,42	0,09	2,00	1,49	6,09
<i>Microcuenca 1</i>	0,78	0,7	5,51	1,06	1,44	1,76	1,67	0,79
<i>Microcuenca 2</i>	0,61	0,5	5,24	1,21	2,41	1,89	1,68	0,6
<i>Microcuenca 3</i>	1,71	2,5	9,62	0,67	0,26	2,07	1,42	2,93
<i>Microcuenca 4</i>	0,74	0,5	5,01	1,47	2,95	1,64	1,29	0,55
<i>Microcuenca General</i>	5,74	7,12	15,83	0,81	0,11	1,86	1,51	9,02

Fuente. Los Autores, 2021.

Tabla 12.

Parámetros Morfométricos del Punto de Intercepto.

<i>Nombres</i>	Área (km ²)	Longitud axial	Perímetro (km)	Ancho promedio	Factor de forma	Coefficiente de compacidad	Pendiente Ponderada	Longitud de cauces km
<i>Microcuenca Caño Guadual</i>	1,27	2,3	7,57	0,56	0,24	1,90	1,49	4,59
<i>Microcuenca 1</i>	0,78	0,7	5,51	1,06	1,44	1,76	1,67	0,79
<i>Microcuenca 2</i>	0,61	0,5	5,24	1,21	2,41	1,89	1,68	0,60
<i>Microcuenca 3</i>	1,71	2,5	9,62	0,67	0,26	2,07	1,42	2,93
<i>Microcuenca 4</i>	0,74	0,5	5,01	1,47	2,95	1,64	1,29	0,55

<i>Microcuenca en el punto de intercepto</i>	5,11	4,8	13,59	1,06	0,22	1,70	1,51	7,52
--	------	-----	-------	------	------	------	------	------

Fuente. Los Autores, 2021.

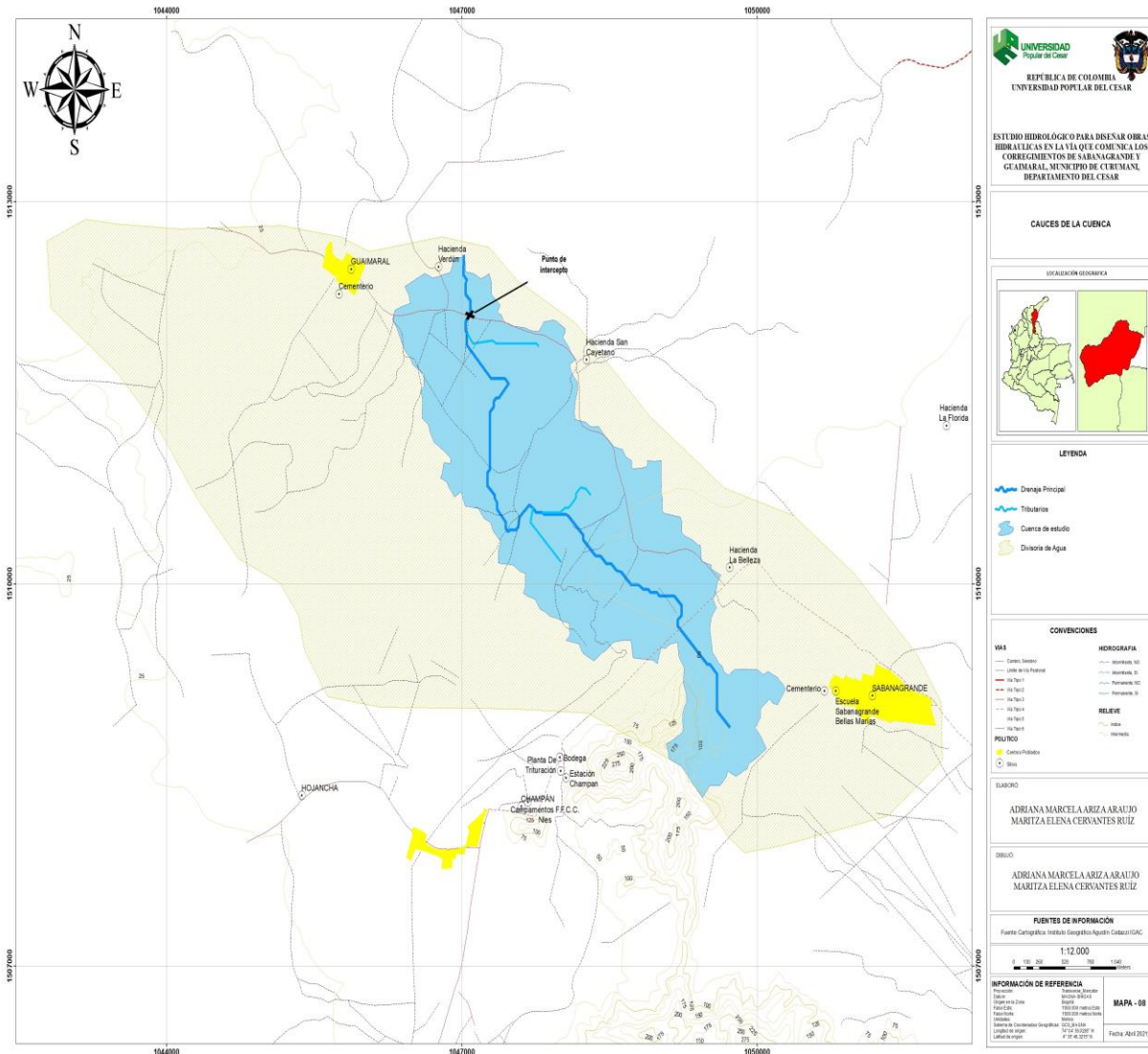
6.2.1 Área

La cuenca tiene un área de 5,74 km² que equivalen a 574 Ha. Esto nos permite darle la categoría a la cuenca según el tamaño como una MICROCUENCA, (Ver tabla 1) y que su área cuenta con una superficie menor a 10.000 Ha. Para el caso del punto de intercepto la microcuenca tiene un área de drenaje igual a 5,11 Km² hasta el sitio de cruce. Ver Figura 19.



Figura 19.

Microcuenca General y Punto de Intercepto.



Fuente. Los autores, 2021.



El punto de intercepto se encuentra a una distancia de 5,23 km desde el corregimiento de Sabanagrande. Se observa que en el punto de intercepto existe un cultivo de Palma en la margen derecha de la vía ubicada en la hacienda Verdun, con coordenadas $9^{\circ}13'32.19''N$, $73^{\circ}38'38.37''O$.

6.2.2 El Perímetro.

La microcuenca en el punto de intercepto tiene un perímetro de 13,59 km, así como la Microcuenca en general tiene un perímetro de 15,83 km, por lo que, calcular el perímetro de la cuenca resulta uno de los parámetros más importantes ya que junto con el área de la cuenca, permite especular acerca de la forma de la cuenca y se determina en Km. El dato se obtuvo de forma semiautomática mediante la herramienta “Arcgis”.

6.2.3 Índice de alargamiento.

De acuerdo con la siguiente ecuación $I_a = \frac{Lm}{l}$, y con los datos obtenidos de la tabla 11, calculamos el índice de alargamiento: $I_a = \frac{7,12}{0,81} = 8,80$ km Quiere decir que la microcuenca es ALARGADA ya que el resultado es > 1 Éste índice permite predecir el movimiento del agua en los drenajes y potencia erosiva o de arrastre. Ver tabla 13 y 14.

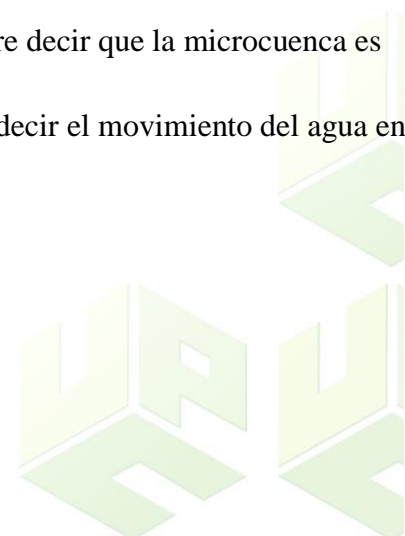


Tabla 13.

Valores para Índice de Alargamiento

<i>Nombres</i>	Longitud axial	Ancho promedio	índice de alargamiento
<i>Microcuenca en general</i>	7,12	0,81	8,80

Fuente. Los autores, 2021.

Tabla 14.

Valores para Índice de Alargamiento del Punto Intercepto.

<i>Nombres</i>	Longitud axial	Ancho promedio	índice de alargamiento
<i>Microcuenca en el punto de intercepto</i>	4,8	1,06	4,53

Fuente. Los autores, 2021.

Por lo tanto, el índice de alargamiento en el punto de intercepto es de 4,53 km; sigue siendo una microcuenca alargada ya que es mayor a 1 con mayor capacidad de erosión y arrastre, relación que indica que la microcuenca posee un sistema de drenaje que se asemeja a una espiga, denotando un alto grado de evolución del sistema en capacidad de absorber mejor una alta precipitación sin generar una crecida de grandes proporciones según (Pomca, 2018) .

6.2.4 Longitud del Cauce Principal

De acuerdo al resultado obtenido en la tabla 12 y 11, La longitud del cauce principal de la microcuenca en el punto de intercepto es de 7,52 Km, y el de la microcuenca en general es de 9,02 km. Entonces el rango establecido en la tabla 2 indica que (6,9 – 10,9) es corto; Sin embargo, se establece que las longitudes reducen el tiempo de concentración y hacen suponer que esta área presenta poca capacidad de colectar agua.

6.2.5 Longitud Axial

La microcuenca cuenta con una longitud axial de 7,12 km como se puede observar en la tabla 11. También en la tabla 12 la microcuenca en el punto de intercepto cuenta con una longitud axial de 4,8 km.

6.2.6 Ancho Promedio de la Microcuenca

Se obtuvo el ancho promedio de la microcuenca con un valor de 0,81 km y en el punto de intercepto con un valor de 1,06 km.

6.2.7 Factor Forma de la Microcuenca

Podemos decir que la **forma de la microcuenca** es de 0,11 quiere decir que presenta una forma muy poco achatada. En el punto de intercepto con un valor de 0,22, quiere decir que la microcuenca presenta una forma ligeramente achatada. El escurrimiento resultante de una lluvia sobre una cuenca de forma alargada, no se concentra tan rápidamente, como en una cuenca de forma redonda; además, una cuenca con un factor de forma bajo (forma alargada) es menos

propensa a tener una lluvia intensa simultáneamente sobre toda su superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor (Londoño, 2001) .El dato se obtuvo de forma semiautomática mediante la herramienta “ArcGis”. Ver tabla 3.

6.2.8 Relación de Elongación

$$Re = \frac{1.129\sqrt{A}}{Lc}$$

Re: Relación de Elongación **A:** Área **Lc:** Longitud de la Cuenca

Tabla 15.

Relación de Elongación

	<i>ÁREA</i>	<i>LONGITUD DE LA CUENCA</i>	<i>RELACIÓN DE ELONGACIÓN</i>
<i>MICROCUENCA</i>	5,74	7,12	0,37
<i>PUNTO DE INTERCEPTO</i>	5,11	4,8	0,53

Fuente. Los autores, 2021.

Cuando más alejado de 1 sea el valor de Re mayor será la elongación. Los índices bajos suelen darse en áreas de bajas pendientes como en el caso de la Microcuenca; esto significa que presenta un retardo en la concentración de la escorrentía a causa de la gran longitud del cauce

principal, los dos puntos analizados en la tabla anterior muestran microcuencas elongadas, con mayor retardo en las avenidas de la esorrentía.

6.2.9 Índice de Compacidad K_c

Según el **índice de compacidad** La microcuenca tiene un valor de 1,85 km y el punto de intercepto de 1,70 km estos resultados indican que son mayores al K_c 1.50 especificado en la tabla 4, por lo tanto, este tipo de microcuenca se caracteriza por ser oval oblonga con tendencia a rectangular oblongo por lo que, la microcuenca y el punto de intercepto tienden a tener bajo volumen de concentración de esorrentía.

Análisis de información de precipitación existente:

A través de la información generada por la web del IDEAM se organizaron y se tabularon los datos de precipitación de la estación Curumaní.

Definición de los periodos de retorno:

Se definieron los periodos de retorno entre 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 años para la estación Curumaní (25020250) con coordenadas Latitud 9.197N y longitud -73.541W de acuerdo a lo establecido por el INVIAS para calcular caudales de diseño correspondientes al tipo de obra a diseñar en la vía.

Cálculo de Precipitación y Duración:

Se tienen 25 datos históricos de precipitación que van desde el año 1996 hasta el 2020, estadísticamente notamos que el mes con mayor precipitación es el de Julio con 416 milímetros mensuales (mm/mes) y un promedio anual de 164,25 milímetros año (mm/año) correspondiente al año 2020. Así mismo, se tiene un promedio mínimo de precipitaciones anuales de 77,30 milímetros año (mm/año) para el año 2004. (VER ANEXO C)

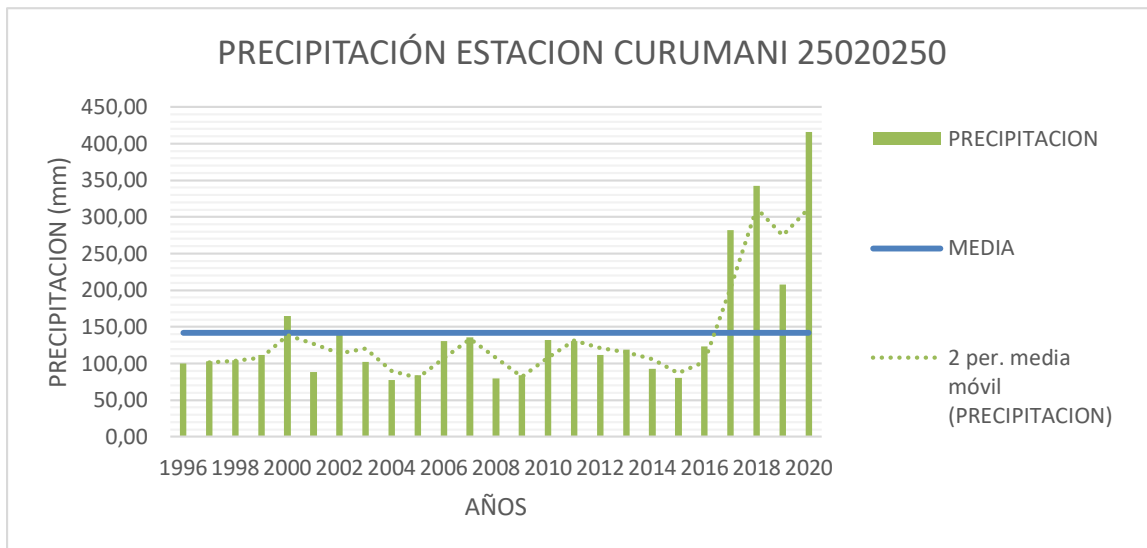
Los datos obtenidos de la tabulación y organización de las precipitaciones se encuentran en (VER ANEXO D).

En la figura 20 se relaciona los valores de precipitación media de la estación Curumaní con respecto a la relación histórica de 25 años.



Figura 20.

Precipitaciones de la Estación



Fuente. Los autores, 2021.

De lo anterior se puede deducir que, en el año 2000, 2017 al 2020, las precipitaciones sobrepasan la media que corresponde a 141,77 mm estos sucesos se dieron en los últimos cuatro años en donde hubo un aumento considerable de las precipitaciones.

Cálculo y generación de curva IDF:

Con base en los registros de precipitación máxima en 24 horas de la estación (25020250) CURUMANÍ se conformó la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 16.

Intensidad-Duración-Frecuencia de la Estación Curumaní.

Tabla de intensidades - Tiempo de duración

<i>Frecuencia</i>	<i>Duración en minutos</i>												
	<i>años</i>	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	164,6	116,4	95,0	82,3	73,6	67,2	62,2	58,2	54,9	52,0	49,6	47,5	
5	201,3	142,3	116,2	100,7	90,0	82,2	76,1	71,2	67,1	63,7	60,7	58,1	
10	234,5	165,8	135,4	117,2	104,9	95,7	88,6	82,9	78,2	74,1	70,7	67,7	
20	273,1	193,1	157,7	136,5	122,1	111,5	103,2	96,6	91,0	86,4	82,3	78,8	
25	286,8	202,8	165,6	143,4	128,3	117,1	108,4	101,4	95,6	90,7	86,5	82,8	
50	334,1	236,2	192,9	167,0	149,4	136,4	126,3	118,1	111,4	105,7	100,7	96,4	
100	389,1	275,1	224,7	194,6	174,0	158,9	147,1	137,6	129,7	123,1	117,3	112,3	
500	554,4	392,0	320,1	277,2	248,0	226,4	209,6	196,0	184,8	175,3	167,2	160,1	

Fuente. Los autores, 2021.

La representación gráfica de las curvas intensidad, duración y frecuencia, indican la intensidad de precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno.

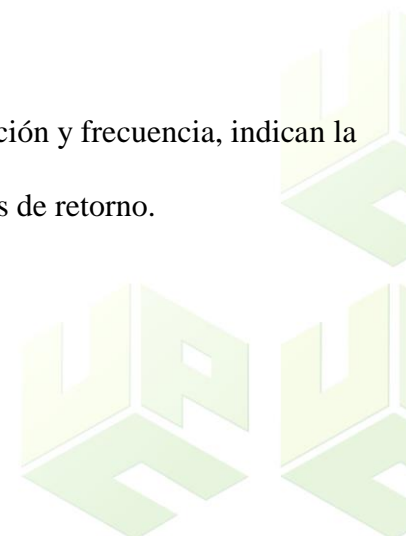
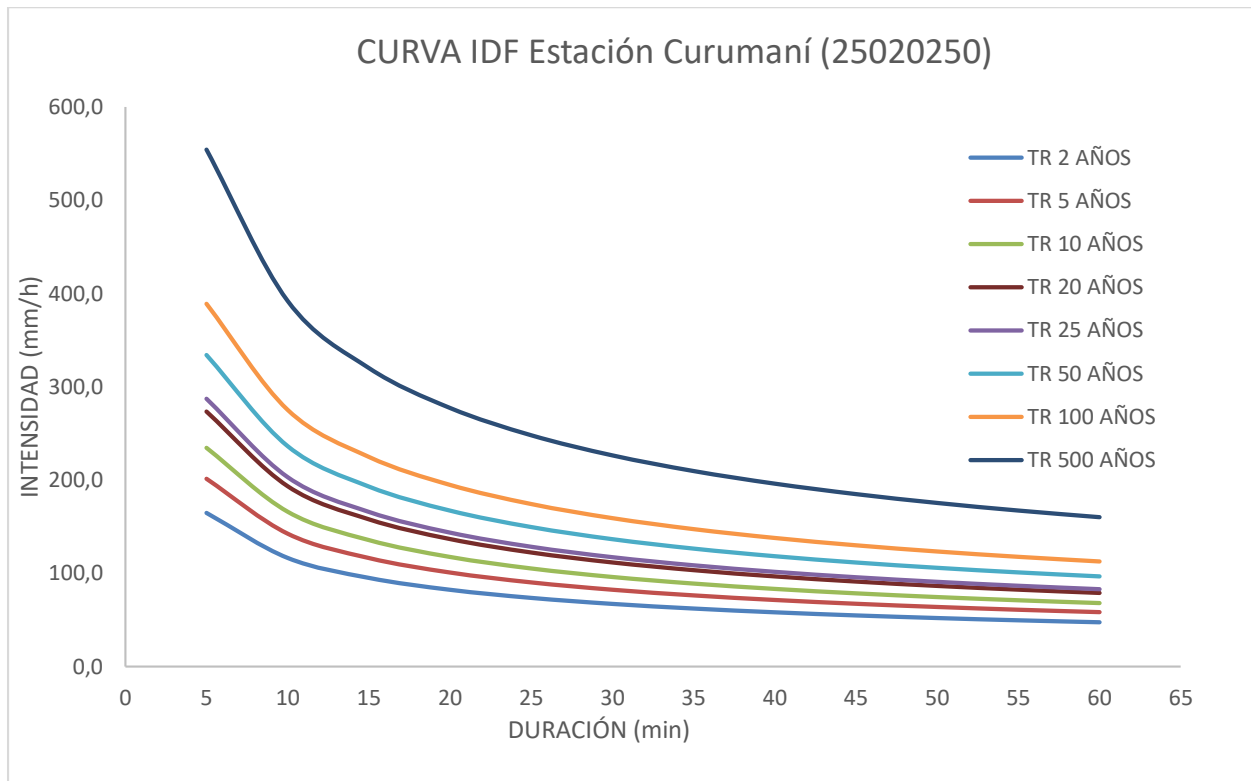


Figura 21.

Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia.



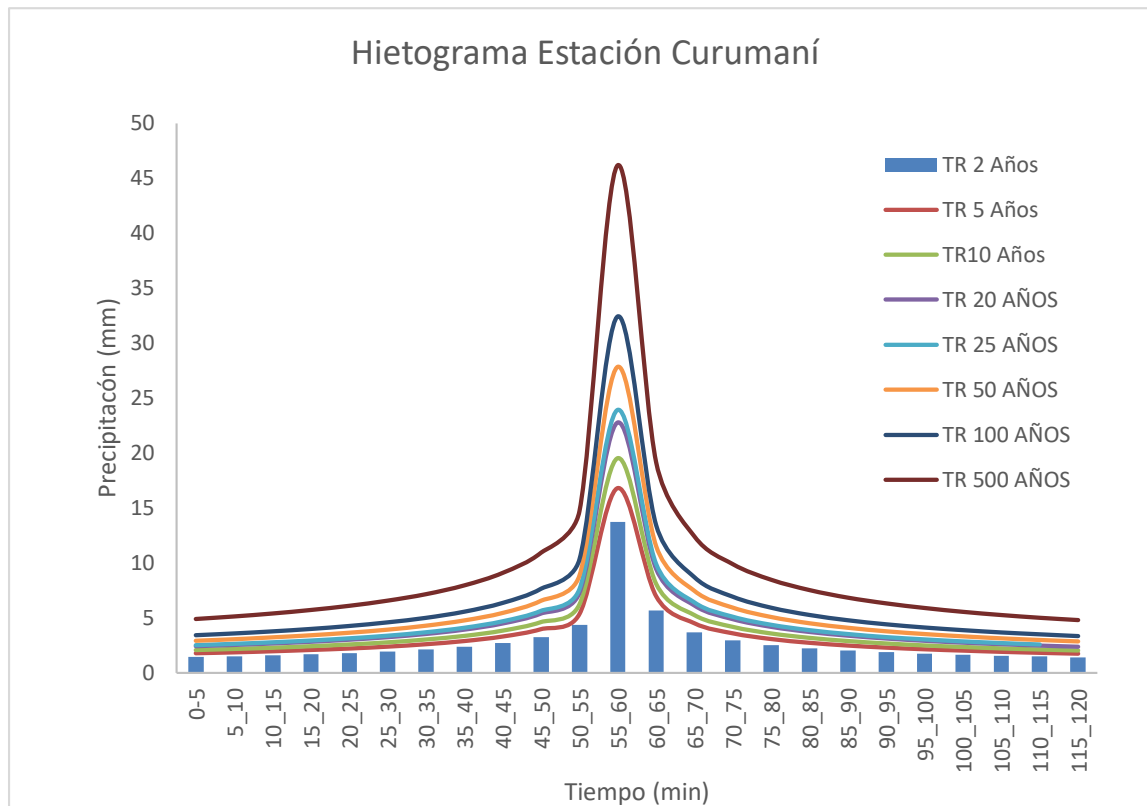
Fuente. Los autores, 2021.

Construcción del Hietograma:

Una vez obtenida la curva IDF se realizó un hietograma de diseño para cada periodo de retorno, en donde el método del bloque alterno utilizado, arrojó que, para cada frecuencia de diseño específica, la profundidad de precipitación en un intervalo de tiempo y de duración es distinta. en la figura 14 se presenta un hietograma para diferentes periodos de retorno en años.

Figura 22.

Hietograma para un Periodo de Diseño de 10 años y 2 horas.



Fuente. Los autores, 2021.

Los resultados se encuentran graficados en la figura 14, donde puede verse el orden descendiente de los bloques a la izquierda y a la derecha del bloque máximo.

De acuerdo a la figura del Hietograma para un periodo de retorno 10 años tenemos que la precipitación máxima se da en un intervalo de tiempo de 55-60 minutos, es decir que en 5 min es

más lluvioso, con una profundidad de precipitación de 19,54 mm. El segundo mayor bloque 8,09 mm se localiza a la derecha del bloque máximo en el intervalo 60-65 min. El tercer mayor bloque 6,21 mm se localiza a la izquierda del bloque máximo en el intervalo de 50-55 min.

Este hietograma representa un evento de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 500 años, con profundidades de precipitación de: 13,71 - 16,78 - 19,54 - 22,76 - 23,9 - 27,84 - 32,43 - 46,2 mm respectivamente ya sea para una duración total de dos horas o como también cualquier otro periodo dentro de esta duración centrado en el bloque máximo.

6.2.10 *Tiempo de Concentración*

Para este parámetro se tuvo un resultado de 1h con 25 min en el punto de intercepto con respecto a la microcuenca en general de 1h con 37 min que es el tiempo que viaja una gota de lluvia desde el lugar más lejano hasta la salida.

Tabla 17.

Valores para Tiempo de Concentración en Diferentes Métodos.

<i>MÉTODO</i>	PUNTO DE INTERCEPTO	MICROCUCENCA
<i>KIRPICH</i>	0,27	0,31
<i>TEMEZ</i>	1,29	1,29
<i>VENTURA - HERAS</i>	1,26	1,45
<i>GIANDOTTI</i>	0,23	0,25
<i>V.T.CHOW</i>	0,87	0,98
<i>JOHNSTONES Y CROSS</i>	6,43	7,05

<i>ESCUELA DEL CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO DE LOS ESTADOS UNIDOS</i>	1,20	1,38
<i>ECUACIÓN DE SCS-RANSER</i>	0,85	0,91
<i>PROMEDIO</i>	1,25	1,37

Fuente. Los autores, 2021.

6.2.11 Hidrograma unitario adimensional del SCS.

Tabla 18.

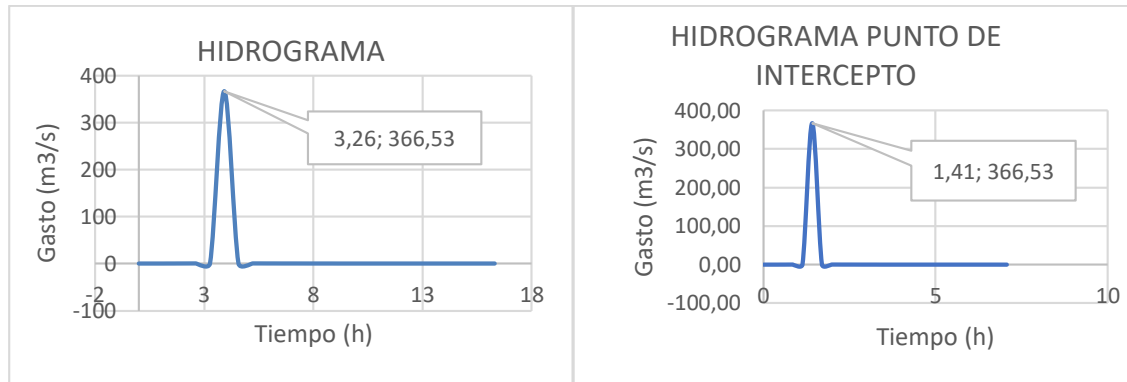
Parámetros para Tabulación del Hidrograma de la Microcuenca general y Punto de Intercepto.

Parámetros	Microcuenca		Punto de Intercepto	
<i>Área de la cuenca</i>	5,75	km ²	5,11	km ²
<i>Tiempo de concentración</i>	1,37	horas	1,25	horas
<i>Tiempo pico</i>	1,48	horas	1,41	horas
<i>Gasto pico</i>	0,37	m ³ /s	0,37	m ³ /s

Fuente. Los autores, 2021.

Figura 23.

Hidrograma unitario adimensional del SCS



Fuente. Los autores, 2021.

El caudal de respuesta de la microcuenca general calculado por el método del hidrograma unitario para una posible tormenta es 366,53 m³/s, el tiempo al pico corresponde a 3 horas con 26 min y el tiempo base total es de 16 horas. Para el punto de intercepto el caudal calculado es de 366,53 m³/s, el tiempo al pico es de 1h con 41 min y el tiempo de base es de 7 horas.

6.2.12 Determinación de parámetros hidrográficos.

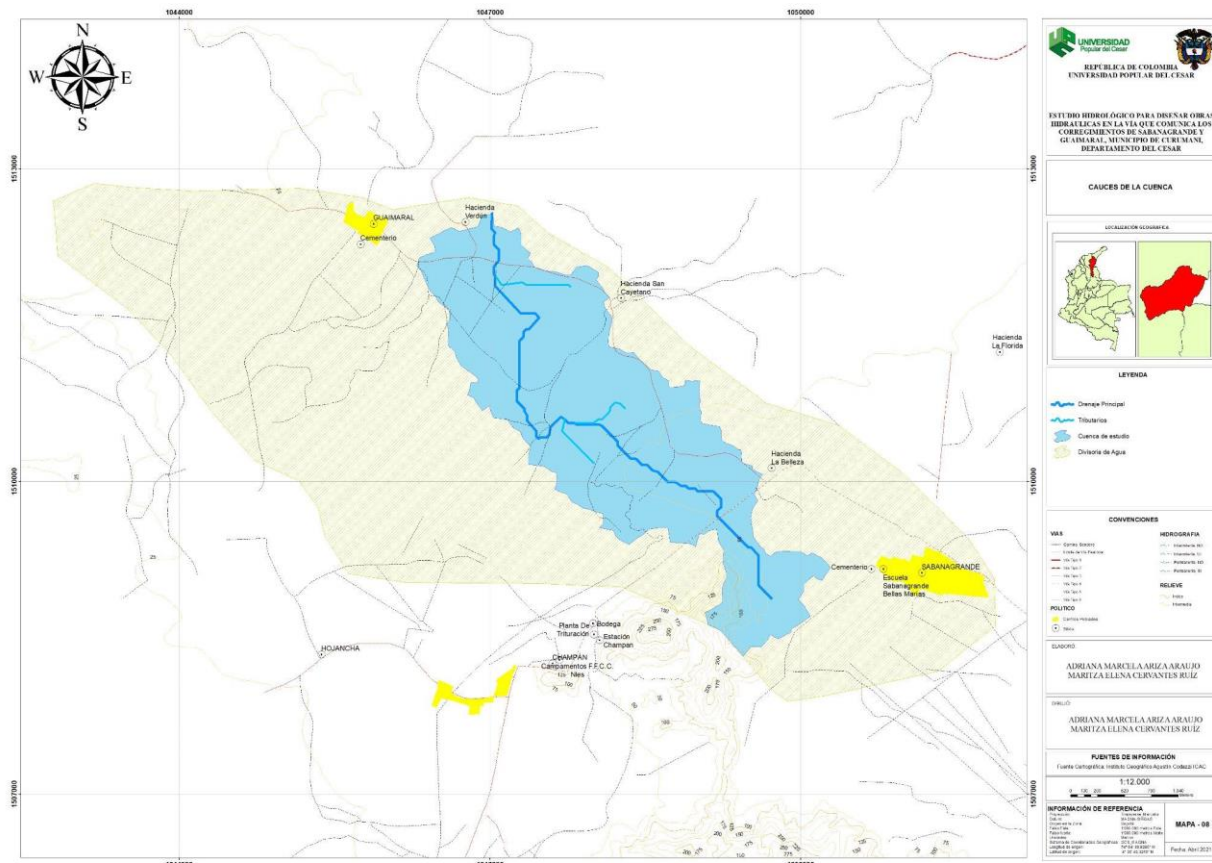
Una vez calculados los parámetros, se procedió con la generación del modelo conceptual que permitió la caracterización y definición de la cuenca.

6.2.12.1 Orden de los cauces y relación bifurcación

El punto de intercepto junto con la microcuenca caño Guadual son de orden 2. Ver figura 24.

Figura 24.

Delimitación de Microcuencas del Caño Guadual usando la herramienta Watershed.



Fuente. Los autores, 2021.



De acuerdo con Horton (1945), cuanto más alto sea el orden de la cuenca mayor será el grado de desarrollo fluvial según Cruz y otros (2015); para nuestra microcuenca se tiene un Orden 2 lo cual indica que el desarrollo fluvial será de menor grado y se establece una menor clasificación en las partes más bajas o planas.

Para la bifurcación de esta microcuenca se tiene un valor de 0,5 de acuerdo al resultado podemos decir que la zona de estudio es una microcuenca bien drenada, pero que puede generar crecidas más violentas dependiendo de la precipitación y la pendiente que aquellas que poseen una alta relación.

Tabla 19.

Bifurcación (Horton) de la Microcuenca.

ORDEN	N° CAUCES	BIFURCACIÓN	PROMEDIO
1	4,00	1	0,5
2	3,00	0	

Fuente. Los autores, 2021.

6.2.12.2 Ley de longitudes.

La sumatoria de longitud para cada uno de los órdenes en todo el transcurso del caño es igual a 10,97 Km y en el punto de intercepto es de 9,47 km.

6.2.12.3 *Densidad de drenaje (Dd).*

Para este parámetro la microcuenca presenta una densidad de drenaje de 1,91 Km/Km² con respecto al punto de intercepto que es de 1,85 Km/Km². Ver tabla 20; se encuentran con una densidad de drenaje moderada por lo que responde relativamente moderado al influjo de la precipitación, reflejando un área con respuesta hidrológica moderadamente drenada.

1,5 – 2,5	Medio	Tendencia media de escorrentía
-----------	-------	--------------------------------

Fuente. Tomado de (Verdugo, 2019)

Tabla 20.

Densidad de Drenaje para la Microcuenca y Punto de Intercepto.

<i>Nombres</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Longitud de cauces (km)</i>	<i>Densidad de drenaje (Km/Km²)</i>
<i>PUNTO DE INTERCEPTO</i>	5,11	9,47	1,85
<i>MICROCUCENCA</i>	5,74	10,97	1,91

Fuente. Los autores, 2021

6.2.12.4 Pendiente del Cauze Principal.

Se tiene la pendiente de la microcuenca y el punto de intercepto, estas registran un tipo de relieve plano con un rango que va de 0-3%. Con este tipo de pendiente, el tiempo de concentración tiende a ser más elevado, por lo tanto, la gota de agua que cae tarda más en llegar al punto de salida.

Tabla 21.

Pendiente Ponderada para la Microcuenca y Punto de Intercepto.

<i>Nombres</i>	<i>Pendiente Ponderada</i>
<i>Microcuenca</i>	1,5
<i>Punto de intercepto</i>	1,5

Fuente. Los autores, 2021.

6.2.12.5 Curva Hipsométrica

Por medio de la curva hipsométrica se determinó la elevación media de la cuenca en donde específicamente se relacionan la elevación con el área.

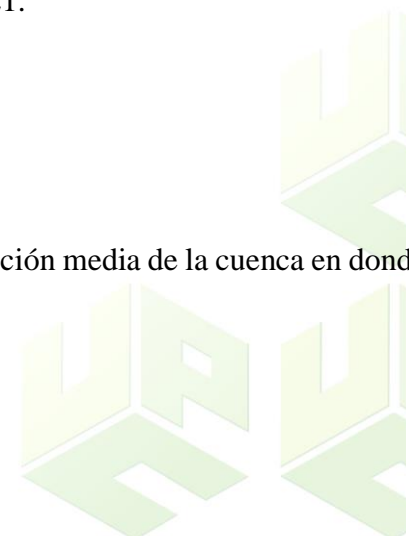


Tabla 22.

Cálculos de los Parámetros Para Construir la Curva Hipsométrica en la Microuenca Total.

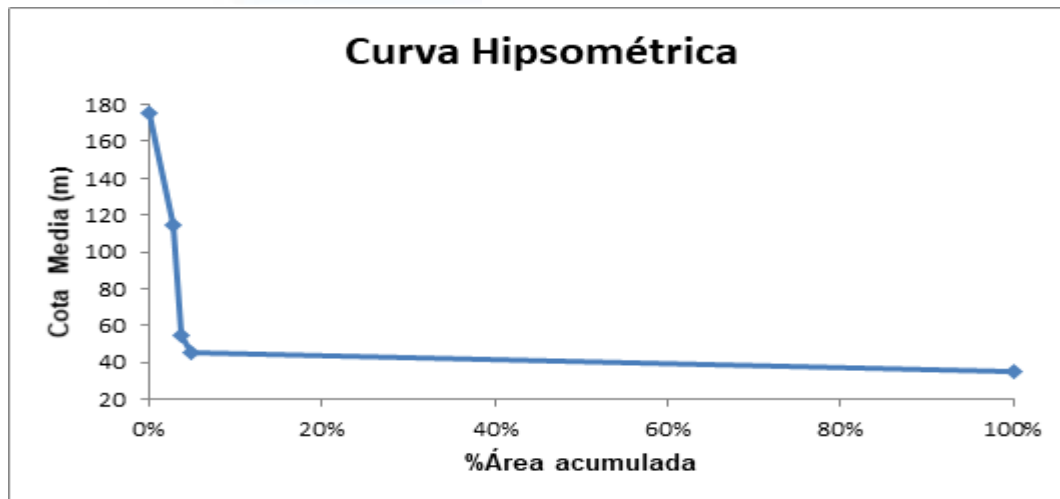
Intervalo entre curvas de nivel [m]	Cota media (m)	Área (Km ²)	Área/Área Total [%]	Porcentaje Acumulado	ai ci
180-170	175	0,003	0,05%	0,05%	0,48
170-60	115	0,164	2,86%	2,90%	18,86
60-50	55	0,043	0,74%	3,65%	2,35
50-40	45	0,066	1,16%	4,80%	2,99
40-30	35	5,469	95,20%	100,00%	191,42

Fuente. Los autores, 2021

Figura 26.

Curva Hipsométrica de la Cuenca en Estudio.





Fuente. Los autores, 2021

De acuerdo a la figura 4 donde clasifica los tipos de curva A, B, C, Se establece que la curva hipsométrica para esta microcuenca corresponde a la curva C y que representa un estado de microcuenca erosionada o sedimentaria (fase de vejez) es decir que el cauce caño gradual asociada con la edad es Vieja.

6.3 FASE III: Cálculo de los Caudales Máximos

6.3.1 Coeficiente de Escorrentía

De acuerdo a la tabla 6 se tuvo en cuenta que es una zona de cultivos; además de que la pendiente no supera el 5% entonces es un terreno plano y la textura del suelo es franco limo arcilloso de esta manera se determinó que el coeficiente es de 0.5.

6.3.2 Intensidad (mm/h).

En este caso es necesario la curva de IDF. Por consiguiente, para un tiempo de duración de la lluvia de 10 minutos y con un tiempo de retorno de 10 años tanto para la microcuenca como para el punto de intercepto obtenemos una Intensidad= 165,8 mm/hr. Ver tabla 23.

Cabe mencionar que el instituto nacional de vías (INVIAS) en el manual de drenaje para carreteras del 2009 recomienda un periodo de retorno para cada una de las obras de arte que el diseño de la carretera requiera.

Tabla 23.

Cálculos de Intensidad, Para Diferentes Periodos de Retorno en la Microcuenca y Punto de Intercepto.

<i>Años</i>	Duración (min)	Intensidad (mm/h)
2	10	116,4
5	10	142,3
10	10	165,8
20	10	193,10
25	10	202,8
50	10	236,2

100	10	275,1
500	10	392,0

Fuente. Los autores, 2021

Nota: La intensidad en el punto de intercepto y la microcuenca es igual debido a que la precipitación es la misma en el área de estudio. Solo se tiene una estación pluviométrica.

6.3.3 Caudal (Q)

Calculamos el caudal de Diseño por medio de los métodos: Racional, Burkli – Ziegler, Mc – Math en la microcuenca y en el punto de intercepto. Como se muestra en las tablas 24 y 25.

Tabla 24

Caudal por los Métodos Racional, Burkli – Ziegler, Mc – Math en la Microcuenca.

AÑOS	INTENSIDAD (mm/h)	RACIONAL (m/s)	Burkli – Ziegler	Mc Math	PROMEDIO
2	116,36	92,84	5,57	8,89	7,23
5	142,34	113,57	6,81	10,87	8,84
10	165,79	132,28	7,93	12,66	10,30
20	193,10	154,07	9,24	14,75	11,99
25	202,82	161,82	9,70	15,49	12,60

50	236,23	188,48	11,30	18,04	14,67
100	275,14	219,52	13,16	21,01	17,09
500	392,04	312,79	18,76	29,94	24,35

Fuente. Los autores, 2021.

Tabla 25.

Caudal por los Métodos Racional, Burkli – Ziegler, Mc – Math en el Punto de Intercepto.

AÑOS	INTENSIDAD (mm/h)	RACIONAL (m/s)	Burkli – Ziegler	Mc Math	PROMEDIO*
2	116,36	82,6	5,10	8,89	6,99
5	142,34	101,1	6,24	10,87	8,56
10	165,79	117,8	7,27	12,66	9,96
20	193,10	137,2	8,47	14,75	11,61
25	202,82	144,1	8,89	15,49	12,19
50	236,23	167,8	10,36	18,04	14,20
100	275,14	195,4	12,06	21,01	16,54
500	392,04	278,5	17,19	29,94	23,56

Fuente. Los autores, 2021.

*Nota. Se promedió los Caudales de Burkli – Ziegler y Mc Math.

Con los resultados obtenidos se concluye que a medida se incrementa la intensidad de precipitación y el área, los valores de caudal calculados por el método racional son

excesivamente altos para los calculados por los métodos Burkli – Ziegler y Mc Math. Además, los dos últimos emplean en su formula la pendiente.

6.4 FASE IV: Determinación de los Criterios de Diseños.

Para la determinación de los criterios de diseño se adoptó de acuerdo a la tabla 7 que especifica el tipo de obra y el periodo de retorno para obras de drenaje vial. Ver tabla 26.

Tabla 26.

Caudales Hidráulicos de Acuerdo al Tipo de Obras.

<i>Tipo de Obra</i>	<i>Periodo de Retorno en Años</i>	<i>Caudal Max. Hidráulico de la Microcuenca (m³/s)</i>	<i>Caudal Max. Hidráulico en el Punto de Intercepto (m³/s)</i>
<i>Cunetas</i>	<i>5</i>	<i>8,84</i>	<i>8,56</i>
<i>Zanja de coronación</i>	<i>10</i>	<i>10,30</i>	<i>9,96</i>
<i>Estructuras de caída</i>	<i>10</i>	<i>10,30</i>	<i>9,96</i>
<i>Alcantarillas de 0,90 m de diámetro</i>	<i>10</i>	<i>10,30</i>	<i>9,96</i>
<i>Alcantarillas mayores a 0,90 m de diámetro</i>	<i>20</i>	<i>11,99</i>	<i>11,61</i>
<i>Puentes menores (luz menor a 10 m)</i>	<i>25</i>	<i>12,60</i>	<i>12,19</i>
<i>Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m</i>	<i>50</i>	<i>14,67</i>	<i>14,20</i>

<i>Puentes de luz mayor o igual a 50 m</i>	100	17,09	16,54
<i>Drenaje sub superficial</i>	2	7,23	6,99

Fuente. Los autores, 2021.

De acuerdo a la propuesto en este proyecto, se establecieron caudales máximos para diferentes tipos de obra que se emplearan para proyectar adecuadamente las obras de drenaje de la vía y así cumplir con el objetivo planteado en el proyecto.

No se encuentra mucha diferencia entre los caudales de diseño para la microcuencia y el punto de intercepto no varían demasiado



7. CONCLUSIÓN

En base a los resultados obtenidos en este trabajo por medio de la caracterización morfométrica y otros parámetros, se logró obtener un amplio desarrollo y conocimiento de la manera como se comporta la microcuenca en la zona y en el punto crítico en donde la microcuenca incide en el tramo vial, gracias a que existen programas como son las SIG que nos permiten ahondar mucho más y nos facilitan el desarrollo de las actividades.

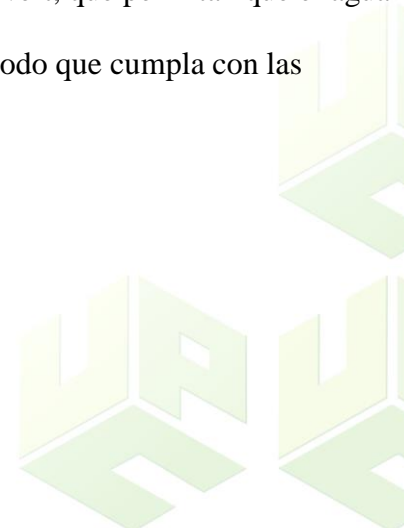
Mediante los sistemas de información geográficos SIG se pudo realizar la delimitación de la zona del proyecto, a través de un modelo de elevación digital DEM, formando un área de 5.74 Km² con un perímetro de 15.84 Km, dándole la categoría de microcuenca, con forma muy poco achatada, donde el escurrimiento no se concentra tan rápidamente. Durante el recorrido del tramo vial predomina un tipo de terreno plano. Se visualiza que dentro de la microcuenca existe un punto de intercepto del caño Guadual con la vía, identificando un área de drenaje de 5,11 Km² con un perímetro de 13.59 Km y que además presenta una forma ligeramente achatada.

El Caño Guadual es una microcuenca que normalmente no genera eventos torrenciales grandes; es una microcuenca bien drenada por su forma y pendiente y eso se visualiza en los resultados arrojados como el Coeficiente de compacidad de 1,85 y respecto al punto de intercepto de 1,70 tienden a ser una microcuenca con bajos volúmenes de concentración de escorrentía.

En general los resultados indican que la microcuenca puede ser propensa a realizar desbordamientos e inundaciones grandes por efecto de las precipitaciones que se generen durante

un evento determinado, de tal manera que en los últimos cuatro años se ha venido presentando grandes precipitaciones en esta región que sobrepasan la media; además se encuentra ubicada en una zona muy plana, con poca pendiente y cercana a la ciénaga de Guaimaral, y por su forma puede generar estas afectaciones.

concluimos que el estudio hidrológico de la vía que comunica a los corregimientos de Sabanagrande - Guaimaral con la realización del proyecto generará beneficios a la comunidad como, por ejemplo; reducción de tiempos en comunicarse de un corregimiento a otro o al municipio de Curumaní, baja notable de enfermedades típicas en épocas lluviosas, mejoras en servicios básicos existentes y la posibilidad de acceder a nuevos servicios. Además, ayudará a los diseños complementarios que se requieran para la construcción de obras civiles y brindar solución a la problemática propuesta en este proyecto, debido a que en la caracterización del tramo vial se encontró que solo cuenta con una obra de arte (Alcantarilla), por lo que se propuso hacer la construcción de cunetas a lo largo de la vía y un box culvert, que permitan que el agua proveniente de afluentes cercanos y aguas lluvia, drene y sobre todo que cumpla con las especificaciones técnicas de la norma INVIAS.



8. RECOMENDACIONES

- En cuanto a la información de los datos de precipitación se ve la necesidad de tener precisión en las estaciones pluviométricas. En nuestro caso tenemos una microcuenca con un área de 5,74 Km² para esta, solo se utilizó una estación lo que la hace insuficiente debido a que: primero era la única que se encontraba cercana a la zona. Segundo, era la que generaba datos de precipitación actualizadas. Para el desarrollo de un estudio hidrológico más representativo o cercano a la realidad es conveniente el tener no una sino muchas estaciones pluviométricas.

-limpieza de los canales utilizados en el riego de los cultivos de las fincas cercanas al corredor vial. Por que obstaculizan el drenaje.

- actualización de los SIG (IGAC), es conveniente ya que la zona estudiada no arroja los nombres de tributarios de primer y segundo orden, asimismo no están representados en los planos.

- Para el drenaje superficial del corredor vial se recomienda el tipo de cuneta de acuerdo a las especificaciones técnicas determinadas en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Transito con el fin de encausar el agua de escorrentía y así evitar el deterioro del pavimento cuando sea construido.

- Se sugiere también otro tipo de obras como alcantarillas, box culvert para obtener un buen manejo de aguas de escorrentía. (INVIAS, 2009).

- Se recomienda tener en cuenta los tramites y procesos ambientales ante la autoridad ambiental competente como Corpocesar, en el cual se debe relacionar una solicitud de

autorización para ocupación de cauces y solicitud para el aprovechamiento forestal que se tendrán en cuenta para la realización de este proyecto.



9. BIBLIOGRAFIA

- Algeciras, K., & Bermúdez, J. (2016). Determinación del Caudal Máximo para el Diseño del Puente en la Quebrada Tuneca Sobre la Vía Siachoque – Toca. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3885>
- Álvarez, S. (9 de Febrero de 2018). Apoyo Técnico En La Formulación Del Proyecto Diseño Geométrico De La Carretera Comprendida Entre Los Corregimientos De Sabanagrande Y Guaimaral Del Municipio de Curumaní, Cesar. Curumaní, Cesar, Colombia. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <http://repositorio.ufpso.edu.co/handle/123456789/1009>
- Arbeláez, A., Velez, M., & Snith, R. (1997). Diseño Hidrológico con Información Escasa un Caso de Estudio: Río San Carlos. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9225>
- Bermeo, S., Adriana, L., & Heidy, L. (2018). Estimación de los Caudales Máximos y Caracterización Morfométrica de la Sub Cuenca del Cauce en el Sector Hidrodependiente del Municipio de SAn Francisco. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Universidad Católica de Colombia. Recuperado el 12 de Julio de 2019, de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16040/1/ESTIMACION%20DE%20LOS%20CAUDALES%20MAXIMOS%20Y%20CARACTERIZACION%20MORFOMETRICA%20DE%20LA%20SUBCUENCA%20DEL%20CAUCE%20EN%20EL%20SECTOR%20HIDRODEPENDIENTE~1.pdf>

- Carvajal, Y., Barroso, F., & Reyes, A. (s.f.). Guía Básica para la Caracterización Morfométrica de Cuencas Hidrográficas. Cali: Universidad del Valle.
- Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Colombia: McGraw-Hill.
- Cruz, B., Gaspari, F., Rodríguez, A., Carrillo, F., & Tellez, J. (2015). Análisis Morfométrico de la Cuenca Hidrográfica del Río Cuale, Jalisco, México. 23(64), 26 - 34. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67441039004>
- Curumaní, C. A. (2018). Mejoramiento y Pavimentación en Concreto Asfáltico de la Carretera Troncal de Oriente del Corregimiento de Sabanagrande en el Municipio de Curumaní. Curumaní, Cesar, Colombia. Obtenido de <https://colombialicita.com/licitacion/86932046>
- DNP. (2018). Mejoramiento de Vias Terciarias. *Version 1.0*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/viasterciarias/ptviasterciarias.pdf>
- Dolores, N., Garay, D., & Juan, G. (2018). *Delimitación Hidrográfica y caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón*. Argentina: Ediciones Inta. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-_delimitacion_y_caracterizacion_de_la_cuenca_del_rio_anzulon_1.pdf
- IDEAM. (2019 - 2021). *Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales*. Recuperado el 2018, de www.ideam.gov.co
- IGAC. (s.f.). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. Recuperado el 2018, de www.igac.gov.co

- Londoño, C. (2001). *Cuencas Hidrográficas* (Vol. 1). Ibagué, Tolima, Colombia: Universidad del Tolima.
- Otálvaro, M. (2016). Consideraciones Generales para Realizar el Diseño Hidrológico e Hidráulico de Obras de Drenaje para Vías de Bajos Volúmenes de Tránsito. Caso de Estudio Pista de Prueba Urrao-Antioquia. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín.
- Otros, V. y. (2013). Diseño Hidráulico Hidrológico de Obras de Ingenierías para Proyectos Viales. Manizales, Caldes, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/271205569_DISENO_HIDRAULICO_E_HIDROLOGICO_DE_OBRAS_DE_INGENIERIA_PARA_PROYECTOS_VIALES
- Peña, C. (2015). Estudio Morfométrico y Estimación de Caudal de Creciente de la Quebrada La Caya hasta la Desembocadura en Río San Pablín del Municipio de Guican-Boyacá Utilizando el Método Racional. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado el 12 de Julio de 2019, de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/8331/1/Pe%C3%B1aUrreaCristianCamilo2015.pdf>
- Perez, J. (2017). Estudio Hidrológico Proyecto Rehabilitación. Pailitas, Cesar, Colombia. Plan de Desarrollo Municipal de Curumaní 2016 - 2019 "Estamos Haciendo el Cambio Sociedad, Paz y Desarrollo". (2019). Curumaní, Cesar, Colombia. Obtenido de http://curumanicesar.micolombiadigital.gov.co/sites/curumanicesar/content/files/000061/3008_plan-de-desarrollo-municipal--20162019.pdf

Pomca, Q. C. (Marzo de 2018). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca. Bogotá, Colombia.

Obtenido de

https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20-%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_CapituloI_Diagnostico_Morfometria.pdf

Quijano, J. (2014). Parámetros Morfométricos, Geomorfológicos y Correlación Estructural en Cinco Cuencas Hidrográficas de la Cuenca Amagá. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/7493>

Quiroga, & Becerra. (2010). *Estimación de las Areas de protección Ambiental en la Zona Urbana del Vergel - Municipio de Ibagué, Cuenca del Río Chipale*. Manizales: Corporación Autónoma Regional del Tolima. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/397295386/1-Estimacion-de-Las-Areas-de-Proteccion-Ambiental-El-Vergel>

S.A, C. e. (2014). Construcción Rehabilitación, Operación y Mantenimiento del Sistema Vial para la Conexión de los Departamentos del Cesar y Guajira Variante San Diego.

Sanchez, S. (2001). Una Aproximación al Proceso de Planificación de Cuencas Hidrográficas. Ibagué, Tolima, Colombia: Universidad del Tolima .

Verdugo, M. (23 de JULIO de 2019). Estudios Morfométricos y Análisis de Inundación del Río Cumbe, Provincia del Azuay; Mediante los Sistemas de información Geográfica (ArcGis)

con la Herramienta de GeoRas y el Programa HecRas. Alcalá de Henares, España.

Obtenido de

https://ebuah.uah.es/xmlui/bitstream/handle/10017/41954/TFM_Verdugo_Cardenas_2019.pdf;jsessionid=93F3148E35B1445085FF91BD5D4B3868?sequence=1



ANEXOS



Anexo A Registro Fotográficos.



Tramo Vial de Sabanagrande a Guaimaral.



Línea Férrea.



Obra Hidráulica Existente (Alcantarilla)



Cultivo de Palma de Corozo.

Anexo B Paso1 delimitacion de la cuenca por medio de Interpolate Shape, para hallar parametros morfometricos.

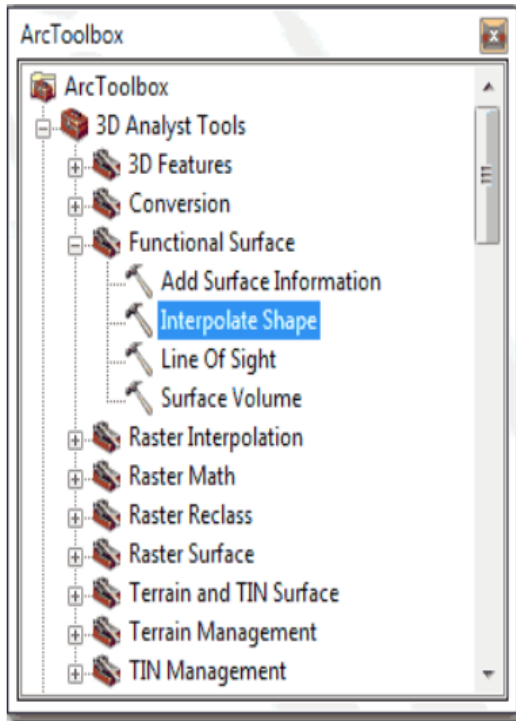


Imagen 1

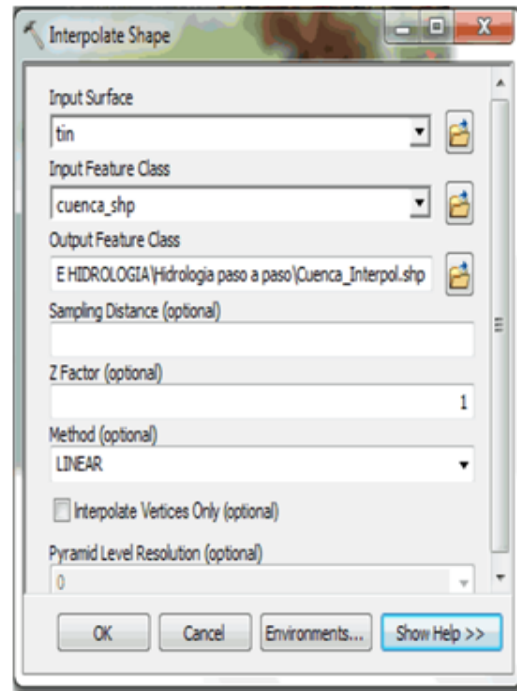


Imagen 2

Selección de la operación Interpolate Shape en la primera imagen. La segunda imagen es un recuadro o ventana que permite aplicar la función: en el primer renglón le dimos la indica cuál va a ser la superficie desde la cual se va a heredar la altura para esta capa, en este caso se trata del modelo 1 llamado tin. En el segundo renglón el cual va a ser la capa que vamos a convertir en 3D corresponde a la cuenca_shp. En el tercer renglón vamos a darle nombre y

destino a este producto, damos click en carpeta a mano derecha, la llamamos a esta carpeta Cuenca_Interpol, luego damos clic en ok. Así mismo se forma una capa encima del modelo

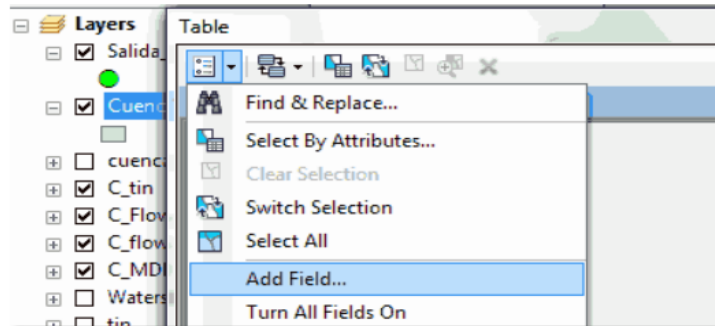


Imagen 3

Esta ventana es para agregar campos que permiten escoger y seleccionar una numeración automática de todos los puntos entonces se escogió agregar un nuevo campo se dio clic en la función Add Field, donde aparece una ventana que permitió en el primer renglón colocar un nombre en este caso orden, en el segundo renglón que es tipo se escogió doble luego click en aceptar.

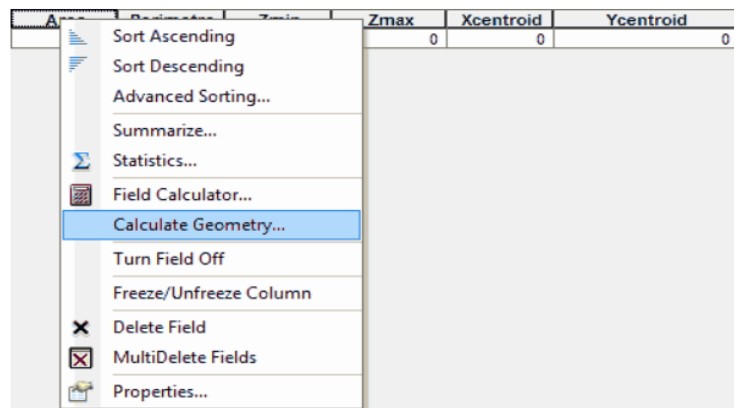


Imagen 4

Después se le dió clic derecho sobre la columna generada anteriormente y se escoge la opción field calculator, luego click en Calculate Geometry, para abrir otra ventana donde se escogio las propiedades de area perimetro, cotas minimas y maximas

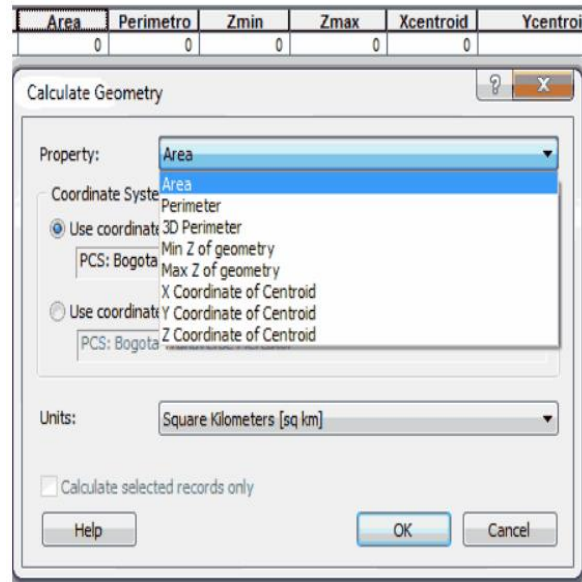
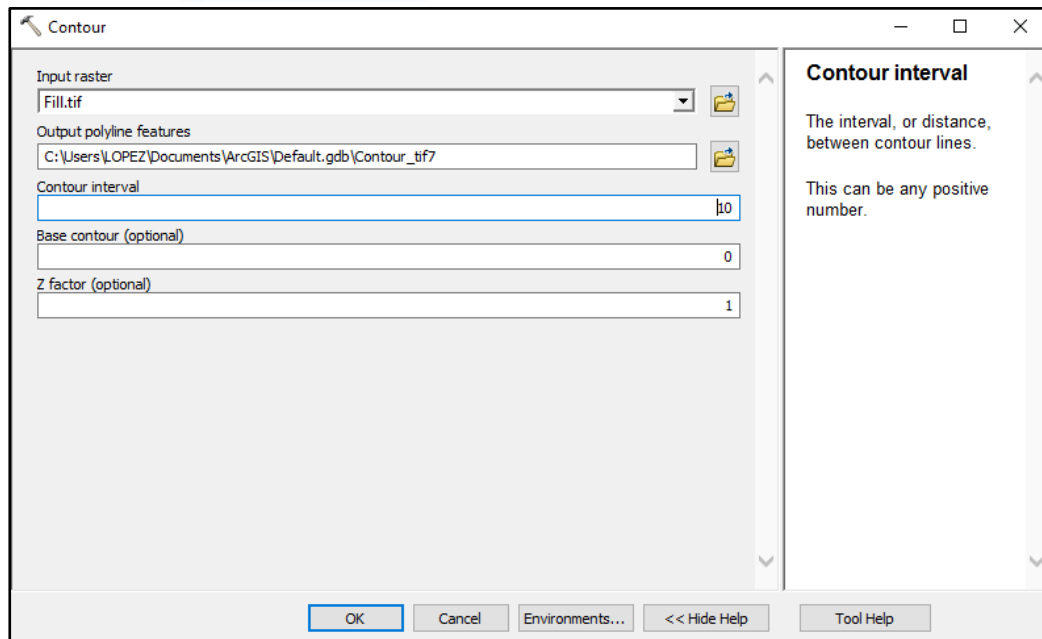


Imagen 5

la siguiente ventana refleja el resultado del campo generado con Calculate Geometry, mostrando los cálculos para los índices Morfométricos de la microcuenca en estudio.

FID	Shape	ID	Area	Perimetro	Zmin	Zmax	Xcentroid	Ycentroid	Zcentroid
0	Polygon ZM	1	207.449	78.300688	26.940	1697.39	1055481	1339516	628.677



Creación de Contornos a partir del Modelo de elevación digital.

Spatial Analyst Tools – Surface – Contours.

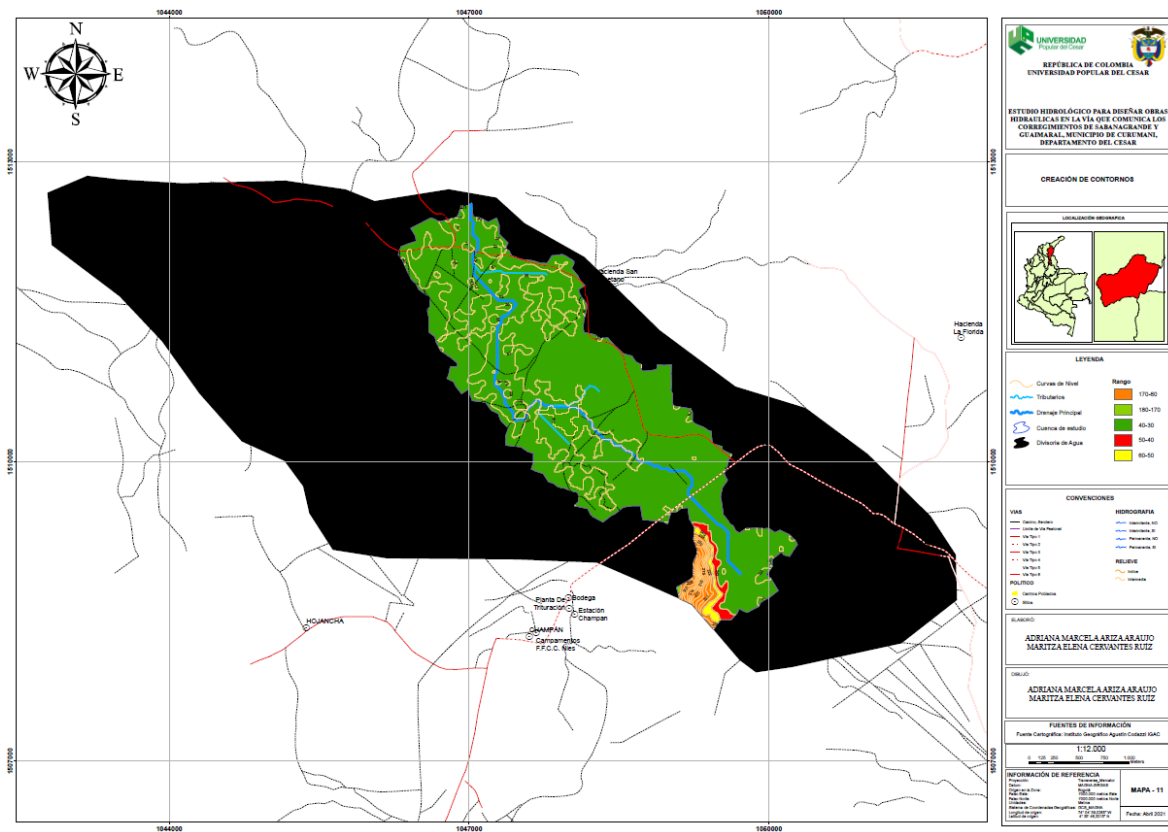


FID	Shape *	nombre	area	Perimetro	Porcentaje
3	Polygon	001_mc	0.784256	5.51	13.65
1	Polygon	002_mc	0.606359	5.24	10.55
2	Polygon	003_mc	1.708256	9.62	29.73
0	Polygon	004_mc	0.736547	5.01	12.82
4	Polygon	Caño Guadual	1.909667	9.81	33.24

Datos de Microcuencas de la zona estudiada.

Imagen 8.

Creacion de Rangos a Partir de Curvas de Nivel.



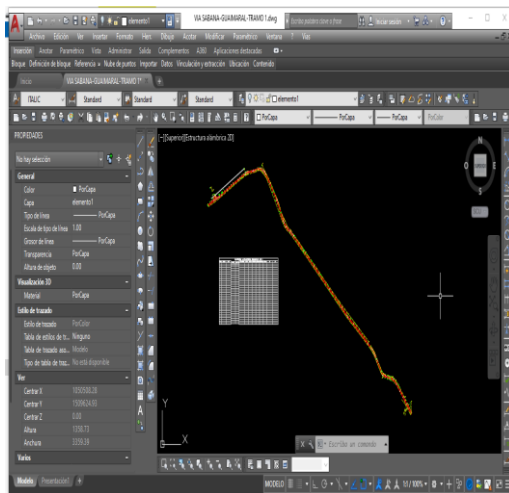
Anexo C Datos de precipitación organizados mensualmente de la estación Curumaní

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo	
1996	39,50	90,00	26,50	15,50	43,70	70,30	17,90	28,00	60,00	65,40	100,00	34,20	100,00	noviembre
1997	0,20	40,00	3,10	28,70	97,00	58,00	8,00	14,00	52,00	72,00	102,90	4,50	102,90	noviembre
1998	33,30	64,00	59,00	104,40	80,00	74,00	34,20	65,00	53,50	54,20	61,00	89,20	104,40	abril
1999	42,30	29,70	73,50	66,20	76,60	111,60	35,60	40,30	96,00	72,80	119,53	8,40	111,60	junio
2000	19,50	63,50	3,80	14,00	41,00	77,20	36,50	5,00	81,80	104,70	165,00	20,40	165,00	noviembre
2001	0,00	0,00	88,00	10,30	61,50	30,00	59,40	28,10	21,60	88,60	26,30	37,50	88,60	octubre
2002	1,20	7,20	2,60	43,70	139,00	27,30	29,20	20,60	36,30	69,10	30,90	1,80	139,00	mayo
2003	1,70	15,00	58,30	59,30	39,00	40,70	25,20	24,70	34,30	98,60	102,50	37,90	102,50	noviembre
2004	0,50	11,70	2,30	58,80	66,30	43,00	34,20	20,40	56,90	63,90	77,30	17,30	77,30	noviembre
2005	26,10	75,00	45,90	76,50	40,30	45,40	24,30	34,00	69,70	105,33	84,00	63,33	84,00	noviembre
2006	31,40	25,00	18,30	45,50	30,90	78,00	23,20	43,30	17,50	130,80	47,30	24,50	130,80	octubre
2007	5,20	0,00	42,80	22,50	90,26	34,60	38,40	47,90	18,20	136,00	31,20	14,00	136,00	octubre
2008	11,70	6,10	46,70	27,50	80,00	72,20	8,10	58,70	69,10	29,60	37,40	4,70	80,00	mayo
2009	4,10	1,40	40,60	15,90	64,80	31,30	15,10	32,10	40,40	84,00	67,00	7,90	84,00	octubre
2010	2,40	12,30	27,30	30,60	132,20	40,70	90,50	87,80	48,60	92,50	85,10	108,00	132,20	mayo
2011	4,90	22,70	13,20	44,90	52,00	49,50	33,70	19,00	72,20	130,50	71,90	34,00	130,50	octubre
2012	3,50	7,80	31,50	31,20	69,30	76,30	44,20	74,80	23,60	112,00	83,80	9,20	112,00	octubre
2013	0,00	13,10	38,80	26,50	11,90	76,50	14,80	119,00	93,10	53,00	77,30	11,00	119,00	agosto
2014	28,80	25,70	31,90	9,00	91,10	3,00	4,70	28,40	65,60	57,30	92,70	69,70	92,70	noviembre
2015	0,00	65,30	9,70	21,60	14,60	18,70	80,70	54,00	35,80	45,40	50,50	19,03	80,70	julio
2016	2,30	37,80	6,00	46,80	116,80	19,80	23,50	33,50	57,10	123,30	90,00	12,10	123,30	octubre
2017	19,10	16,00	46,90	106,00	281,70	259,30	94,10	166,10	148,60	157,40	209,90	43,00	281,70	mayo
2018	198,40	0,00	9,70	130,70	184,50	157,10	105,50	84,30	330,00	342,10	116,00	0,00	342,10	octubre
2019	27,00	4,00	64,00	208,00	103,00	73,00	73,00	62,00	197,00	173,10	177,00	77,00	208,00	abril
2020	56,00	11,00	15,00	101,00	249,00	205,00	416,00	205,00	160,00	263,00	242,00	48,00	416,00	julio
MAX	198,40	90,00	88,00	208,00	281,70	259,30	416,00	205,00	330,00	342,10	242,00	108,00	416,00	
PROMEDIO													141,77	

Anexo D Organización de Precipitaciones Máximas Anuales Historica en 24 horas.

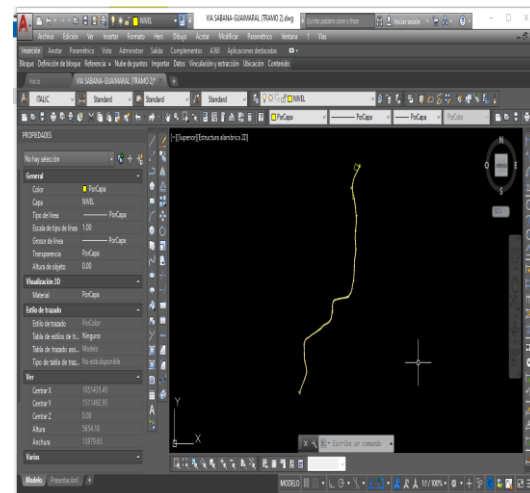
Año	Máximo
1996	100
1997	102,9
1998	104,4
1999	111,6
2000	165
2001	88,6
2002	139
2003	102,5
2004	77,3
2005	84
2006	130,8
2007	136
2008	80
2009	84
2010	132,2
2011	130,5
2012	112
2013	119
2014	92,7
2015	80,7
2016	123,3
2017	281,7
2018	342,1
2019	208
2020	416
N	25 AÑOS
PROMEDIO	141,77 mm
SD	84,82 mm
ASIMETRIA	2,23

Anexo E Levantamiento topográfico primer tramo. ([Ver](#))



Fuente: Tomado de (Álvarez, 2018)

Anexo F Levantamiento topográfico segundo tramo ([Ver](#))



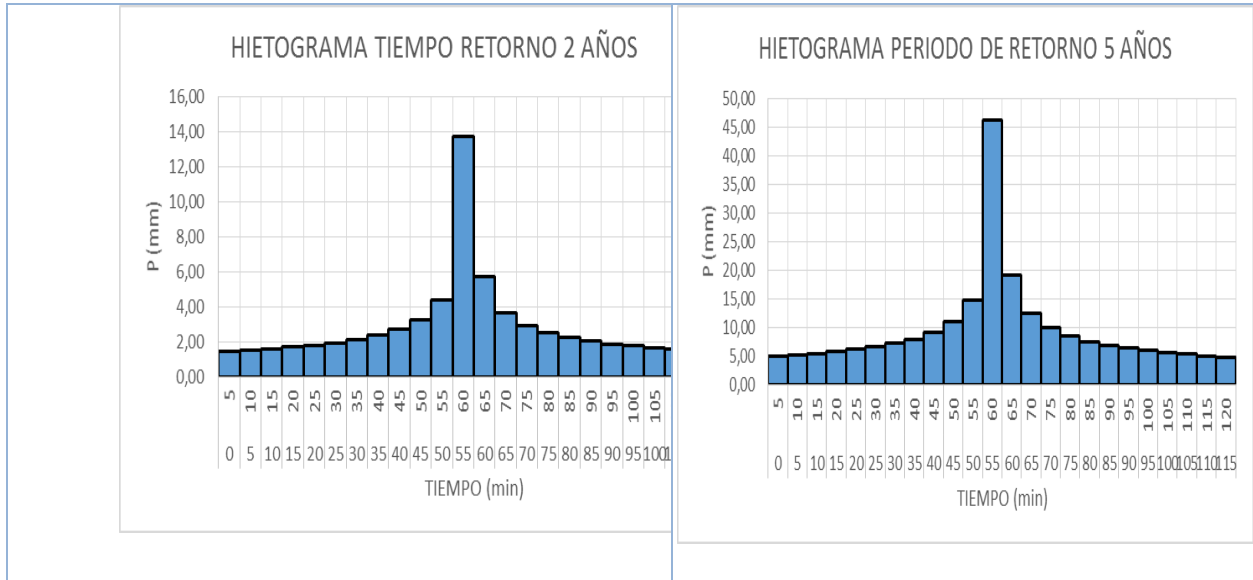
Fuente: Tomado de (Álvarez, 2018)

En esta actividad se realizó el levantamiento topográfico mediante una estación total de referencia $\frac{NTS-362R6}{L}$ acompañado de dos prismas, el cual permite realizar un levantamiento topográfico eficaz y preciso por las características que presenta el equipo con el fin de tener una geometría del proyecto, donde se vinculan en forma analítica, los diferentes ejes de simetría de la carretera teniendo en cuenta las rutas y trazados que en campo se pudieron observar así se pudo

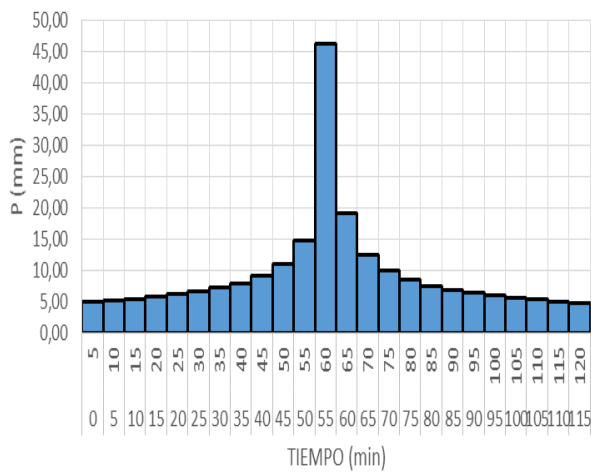
seleccionar la faja de estudio el cual reunió todas las condiciones óptimas para el desenvolvimiento del trazado. La comisión topográfica se hizo presente en el tramo de carretera y prosiguió con las activadas de medida para así poder conocer de forma exacta las dimensiones totales que tiene el terreno con sus respectivos detalles como lo son cercas, arboles, obras de drenaje como alcantarillas. (Álvarez, 2018)



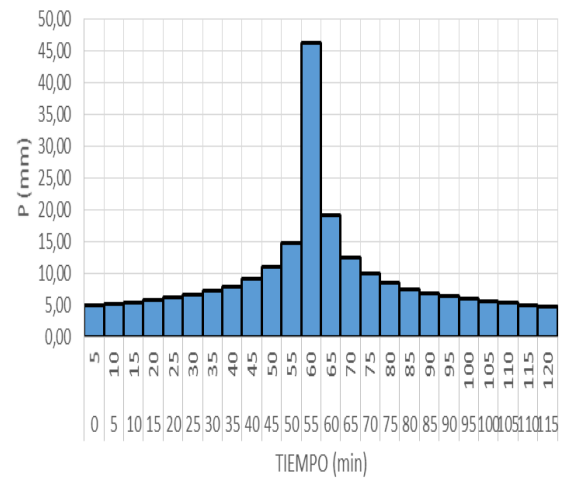
Anexo G Hietograma para los diferentes periodos de retorno.



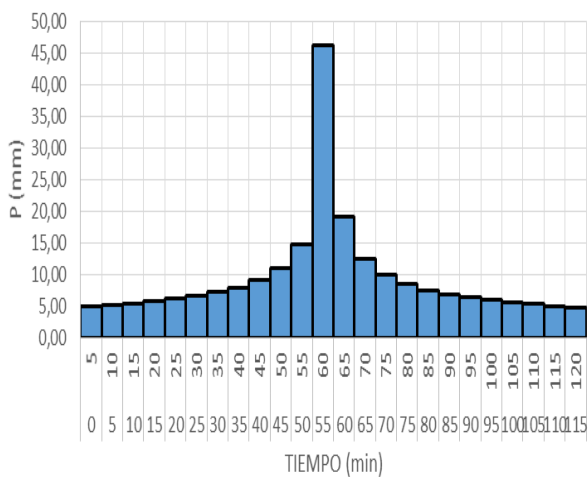
HIETOGRAMA PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS



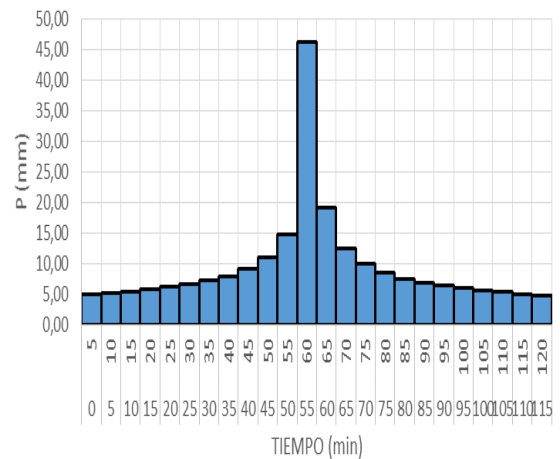
HIETOGRAMA PERIODO DE RETORNO 25 AÑOS

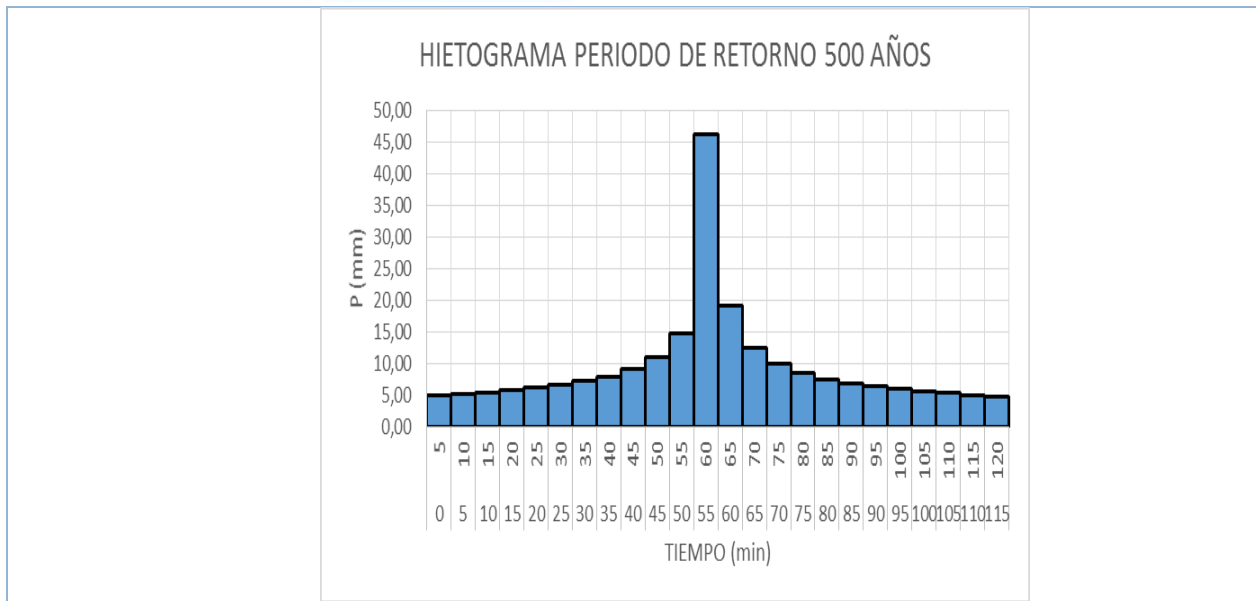


HIETOGRAMA PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS



HIETOGRAMA PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS





Fuente: Los autores, 2021.

NOTA: Representación gráfica de los hietogramas de bloques alternos en los diferentes periodos de retorno establecidos para el diseño de obras hidráulicas de acuerdo al manual de INVIAS.

Anexo H Tablas de datos para hietogramas de precipitación por cada periodo de retorno

HIETOGRAMA PERIODO DE RETORNO 2 AÑOS

Duración (min)	Intensidad (mm/h)	profundidad acumulada (mm)	profundidad incremental	tiempo (min)	precipitación (mm)
5	164,55	13,71	13,71	0 5	1,45
10	116,36	19,39	5,68	5 10	1,51
15	95,00	23,75	4,36	10 15	1,59
20	82,28	27,43	3,67	15 20	1,69

25	73,59	30,66	3,24	20	25	1,80
30	67,18	33,59	2,93	25	30	1,94
35	62,19	36,28	2,69	30	35	2,12
40	58,18	38,79	2,50	35	40	2,35
45	54,85	41,14	2,35	40	45	2,69
50	52,04	43,36	2,23	45	50	3,24
55	49,61	45,48	2,12	50	55	4,36
60	47,50	47,50	2,02	55	60	13,71
65	45,64	49,44	1,94	60	65	5,68
70	43,98	51,31	1,87	65	70	3,67
75	42,49	53,11	1,80	70	75	2,93
80	41,14	54,85	1,74	75	80	2,50
85	39,91	56,54	1,69	80	85	2,23
90	38,79	58,18	1,64	85	90	2,02
95	37,75	59,77	1,59	90	95	1,87
100	36,79	61,32	1,55	95	100	1,74
105	35,91	62,84	1,51	100	105	1,64
110	35,08	64,32	1,48	105	110	1,55
115	34,31	65,76	1,45	110	115	1,48
120	33,59	67,18	1,41	115	120	1,41

HISTOGRAMA PERIODO DE RETORNO 5 AÑOS

Duración (min)	Intensidad (mm/h)	profundidad acumulada (mm)	profundidad incremental	tiempo (min)		precipitación (mm)
5	201,30	16,78	16,78	0	5	1,77
10	142,34	23,72	6,95	5	10	1,85
15	116,22	29,06	5,33	10	15	1,95
20	100,65	33,55	4,49	15	20	2,07
25	90,03	37,51	3,96	20	25	2,20
30	82,18	41,09	3,58	25	30	2,37
35	76,09	44,38	3,29	30	35	2,59

40	71,17	47,45	3,06	35	40	2,88
45	67,10	50,33	2,88	40	45	3,29
50	63,66	53,05	2,72	45	50	3,96
55	60,70	55,64	2,59	50	55	5,33
60	58,11	58,11	2,47	55	60	16,78
65	55,83	60,48	2,37	60	65	6,95
70	53,80	62,77	2,28	65	70	4,49
75	51,98	64,97	2,20	70	75	3,58
80	50,33	67,10	2,13	75	80	3,06
85	48,82	69,17	2,07	80	85	2,72
90	47,45	71,17	2,01	85	90	2,47
95	46,18	73,12	1,95	90	95	2,28
100	45,01	75,02	1,90	95	100	2,13
105	43,93	76,87	1,85	100	105	2,01
110	42,92	78,68	1,81	105	110	1,90
115	41,97	80,45	1,77	110	115	1,81
120	41,09	82,18	1,73	115	120	1,73

HISTOGRAMA PERIODO DE RETONO 10 AÑOS

Duración (min)	Intensidad (mm/h)	profundidad acumulada (mm)	profundidad incremental	tiempo (min)	precipitación (mm)	
5	234,46	19,54	19,54	0	5	2,06
10	165,79	27,63	8,09	5	10	2,16
15	135,37	33,84	6,21	10	15	2,27
20	117,23	39,08	5,24	15	20	2,41
25	104,86	43,69	4,61	20	25	2,57
30	95,72	47,86	4,17	25	30	2,76
35	88,62	51,69	3,83	30	35	3,02
40	82,90	55,26	3,57	35	40	3,35
45	78,15	58,62	3,35	40	45	3,83
50	74,14	61,79	3,17	45	50	4,61

55	70,69	64,80	3,02	50	55	6,21
60	67,68	67,68	2,88	55	60	19,54
65	65,03	70,45	2,76	60	65	8,09
70	62,66	73,11	2,66	65	70	5,24
75	60,54	75,67	2,57	70	75	4,17
80	58,62	78,15	2,48	75	80	3,57
85	56,87	80,56	2,41	80	85	3,17
90	55,26	82,90	2,34	85	90	2,88
95	53,79	85,17	2,27	90	95	2,66
100	52,43	87,38	2,21	95	100	2,48
105	51,16	89,54	2,16	100	105	2,34
110	49,99	91,64	2,11	105	110	2,21
115	48,89	93,70	2,06	110	115	2,11
120	47,86	95,72	2,02	115	120	2,02

HISTOGRAMA PERIODO DE RETONO 25 AÑOS

Duración (min)	Intensidad (mm/h)	profundidad acumulada (mm)	profundidad incremental	tiempo (min)		precipitación (mm)
5	286,83	23,90	23,90	0	5	2,52
10	202,82	33,80	9,90	5	10	2,64
15	165,60	41,40	7,60	10	15	2,78
20	143,41	47,80	6,40	15	20	2,94
25	128,27	53,45	5,64	20	25	3,14
30	117,10	58,55	5,10	25	30	3,38
35	108,41	63,24	4,69	30	35	3,69
40	101,41	67,61	4,37	35	40	4,10
45	95,61	71,71	4,10	40	45	4,69
50	90,70	75,59	3,88	45	50	5,64

55	86,48	79,28	3,69	50	55	7,60
60	82,80	82,80	3,53	55	60	23,90
65	79,55	86,18	3,38	60	65	9,90
70	76,66	89,43	3,25	65	70	6,40
75	74,06	92,57	3,14	70	75	5,10
80	71,71	95,61	3,04	75	80	4,37
85	69,57	98,55	2,94	80	85	3,88
90	67,61	101,41	2,86	85	90	3,53
95	65,80	104,19	2,78	90	95	3,25
100	64,14	106,89	2,71	95	100	3,04
105	62,59	109,53	2,64	100	105	2,86
110	61,15	112,11	2,58	105	110	2,71
115	59,81	114,63	2,52	110	115	2,58
120	58,55	117,10	2,47	115	120	2,47

HISTOGRAMA PERIODO DE RETONO 50 AÑOS

Duración (min)	Intensidad (mm/h)	profundidad acumulada (mm)	profundidad incremental	tiempo (min)		precipitación (mm)
5	334,08	27,84	27,84	0	5	2,93
10	236,23	39,37	11,53	5	10	3,07
15	192,88	48,22	8,85	10	15	3,24
20	167,04	55,68	7,46	15	20	3,43
25	149,40	62,25	6,57	20	25	3,66
30	136,39	68,19	5,94	25	30	3,94
35	126,27	73,66	5,46	30	35	4,30
40	118,11	78,74	5,09	35	40	4,78

45	111,36	83,52	4,78	40	45	5,46
50	105,65	88,04	4,52	45	50	6,57
55	100,73	92,33	4,30	50	55	8,85
60	96,44	96,44	4,11	55	60	27,84
65	92,66	100,38	3,94	60	65	11,53
70	89,29	104,17	3,79	65	70	7,46
75	86,26	107,82	3,66	70	75	5,94
80	83,52	111,36	3,54	75	80	5,09
85	81,03	114,79	3,43	80	85	4,52
90	78,74	118,11	3,33	85	90	4,11
95	76,64	121,35	3,24	90	95	3,79
100	74,70	124,50	3,15	95	100	3,54
105	72,90	127,58	3,07	100	105	3,33
110	71,23	130,58	3,00	105	110	3,15
115	69,66	133,52	2,93	110	115	3,00
120	68,19	136,39	2,87	115	120	2,87

HISTOGRAMA PERIODO DE RETONO 100 AÑOS

Duración (min)	Intensidad (mm/h)	profundidad acumulada (mm)	profundidad incremental	tiempo (min)		precipitación (mm)
5	389,11	32,43	32,43	0	5	3,42
10	275,14	45,86	13,43	5	10	3,58
15	224,65	56,16	10,31	10	15	3,77
20	194,56	64,85	8,69	15	20	3,99
25	174,02	72,51	7,65	20	25	4,26
30	158,85	79,43	6,92	25	30	4,59
35	147,07	85,79	6,36	30	35	5,00
40	137,57	91,71	5,92	35	40	5,56

45	129,70	97,28	5,56	40	45	6,36
50	123,05	102,54	5,26	45	50	7,65
55	117,32	107,55	5,00	50	55	10,31
60	112,33	112,33	4,78	55	60	32,43
65	107,92	116,91	4,59	60	65	13,43
70	103,99	121,33	4,41	65	70	8,69
75	100,47	125,59	4,26	70	75	6,92
80	97,28	129,70	4,12	75	80	5,92
85	94,37	133,70	3,99	80	85	5,26
90	91,71	137,57	3,88	85	90	4,78
95	89,27	141,34	3,77	90	95	4,41
100	87,01	145,01	3,67	95	100	4,12
105	84,91	148,60	3,58	100	105	3,88
110	82,96	152,09	3,50	105	110	3,67
115	81,14	155,51	3,42	110	115	3,50
120	79,43	158,85	3,34	115	120	3,34

HISTOGRAMA PERIODO DE RETONO 500 AÑOS

<i>Duración (min)</i>	<i>Intensidad (mm/h)</i>	<i>profundidad acumulada (mm)</i>	<i>profundidad incremental</i>	<i>tiempo (min)</i>		<i>precipitación (mm)</i>
5	554,43	46,20	46,20	0	5	4,87
10	392,04	65,34	19,14	5	10	5,10
15	320,10	80,03	14,68	10	15	5,37
20	277,22	92,41	12,38	15	20	5,69
25	247,95	103,31	10,91	20	25	6,07
30	226,35	113,17	9,86	25	30	6,54
35	209,56	122,24	9,07	30	35	7,13
40	196,02	130,68	8,44	35	40	7,93
45	184,81	138,61	7,93	40	45	9,07

50	175,33	146,11	7,50	45	50	10,91
55	167,17	153,24	7,13	50	55	14,68
60	160,05	160,05	6,81	55	60	46,20
65	153,77	166,59	6,54	60	65	19,14
70	148,18	172,88	6,29	65	70	12,38
75	143,15	178,94	6,07	70	75	9,86
80	138,61	184,81	5,87	75	80	8,44
85	134,47	190,50	5,69	80	85	7,50
90	130,68	196,02	5,52	85	90	6,81
95	127,20	201,39	5,37	90	95	6,29
100	123,98	206,63	5,23	95	100	5,87
105	120,99	211,73	5,10	100	105	5,52
110	118,21	216,71	4,98	105	110	5,23
115	115,61	221,58	4,87	110	115	4,98
120	113,17	226,35	4,77	115	120	4,77

