MEJORAMIENTO DE LA VIA RURAL QUE COMUNICA EL CASCO URBANO CON LA VEREDA SANTA LUCIA DEL MUNICIPIO DE MOGOTES, SANTANDER



ELABORO:

JOHN FERNANDO SARMIENTO DURAN
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA AMBIENTAL
T.P: 68202120337STD

MUNICIPIO DE MOGOTES
DEPARTAMENTO DE SANTANDER

OCTUBRE
2024

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION 5
2. OBJETIVOS 6
2.1. OBJETIVO GENERAL 6
2.2. OBJETIVO ESPECIFICO 6
3. ALCANCE 7
4. GENERALIDADES 7
4.1. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO 7
4.2. LOCALIZACION DEL PROYECTO 8
5. ANALISIS HIDROLOGICO 9
5.1. INFORMACION HIDROMETEOROLOGICAS 10
5.2. ANÁLISIS DE LLUVIAS 11
5.2.1. PRECIPITACIÓN 11
5.3. METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE ESCORRENTIA DE LA VIA 12
5.3.1. DETERMINACIÓN DE CAUDALES PARA DISEÑO HIDRÁULICO 12
5.3.2. CONTROL HIDRÁULICO DE LA BERMA – CUNETA 18
6. ANALISIS HIDRAULICO DE LA VIA 21
6.1. CRITERIOS HIDRAULICOS 22
6.2. HIDRAULICA DE OBRAS 22
6.3. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE DEMANDA 23
6.3.1. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL QUE PUEDE TRANSPORTAR LA CUNETA TIPO 24
6.3.2. CRITERIO PARA EL CÁLCULO DE LA DISTANCIA DE SEPARACIÓN ENTRE OBRAS DE DRENAJE 25
6.3.2.1. CURVAS INTENSIDAD PENDIENTE LONGITUD I-P-L 26
6.3.2.2. CALCULO DE LAS LONGITUDES MÁXIMAS DE LAS CUNETAS DE ACUERDO A LAS PENDIENTES DEL PROYECTO 27
7. CONCLUSIONES DE LA VIA 29
8. ANÁLISIS PARA EL BOX CULVERT 32
8.1. ESPACIALIZACIÓN DE ESTACIONES METEORÓLOGICAS 32
8.2. HIETOGRAMA DE DISEÑO 35
8.3. TORMENTA DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO 37

8.4. PARÁMETROS GEOMETRICOS DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA 40
8.5. PARÁMETROS DEL RELIEVE DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA 41
8.6. PARÁMETROS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE 42
8.7. MÉTODO DE CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO DE DISEÑO 43
8.8. CAUDALES MEDIANTE EL MÉTODO DE HIDROGRAMA UNITARIO 43
8.8.1. PRECIPITACIONES EFECTIVAS 43
8.8.2. VALORES DE NÚMERO DE CURVA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA 44
8.9. ESTIMACIÓN DE CAUDALES CON HEC-HMS PARA EL ESCENARIO DE COBERTURA ACTUAL 45
9. ESTUDIO HIDRAULICO DEL BOX CULVERT 46
10. ANALISIS DE SOCAVACION 50
11. CONCLUSIONES BOX CULVERT 51
12. BIBLIOGRAFÍA 53

TABLAS

Tabla 1 Datos de los tramos con su área aferente, longitud, abscisas, cotas y pendientes 9
Tabla 2 Datos de la estación Pluviométrica utilizada en el área de estudio 10
Tabla 3 Valores máximos mensuales de precipitación (mm) en 24 horas estación pluviométrica – VALLE DE SAN JOSE [24020080] 13
Tabla 4 Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad — duración-frecuencia, IDF, para Colombia 15
Tabla 5 Valores para el cálculo de la precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual (M) 16
Tabla 6 Parámetros de la región 1 17
Tabla 7 Valores de Intensidad, Duración, Frecuencia, Estación Pluviométrica VALLE DE SAN JOSE [24020080] 17
Tabla 8 Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales 20
Tabla 9 Valor del coeficiente de escorrentía para cada tramo 21
Tabla 10 Parámetros hidráulicos de la cuneta seleccionada para el proyecto 23
Tabla 11 valores de caudal de escorrentía para cada tramo, calculado con la fórmula del método racional 24
Tabla 12 Valores de velocidad y caudal que puede transportar la cuneta tipo a sección plena con variación de la pendiente según el tramo 25
Tabla 13 Longitudes máximas de la cuneta en metros teniendo en cuenta la intensidad y la pendiente de 2 a 20% CE=0,26 26
Tabla 14 Longitudes máximas de la cuneta de acuerdo a las pendientes de los tramos de estudio 28
Tabla 15 Estructura de drenaje 28

Tabla 16 Análisis de datos Totales de precipitación mensual multianual de la estación del IDEAM – VALLE DE SAN JOSE [24020080] 33
Tabla 17 Tabla de Intensidad - Duración – Frecuencia estación pluviométrica - VALLE DE SAN JOSE [24020080] MUNICIPIO DE VALLE DE SAN JOSÉ- SANTANDER 34
Tabla 18 Tormenta de Diseño Preliminar 36
Tabla 19 Tormenta de Diseño con Ajuste del área – estación pluviométrica 36
Tabla 20 Parámetros geométricos o físicos de la unidad hidrográfica de estudio 40
Tabla 21 Parámetros del relieve de la unidad hidrográfica de estudio 42
Tabla 22 Parámetros del relieve de la unidad hidrográfica de estudio 43
Tabla 23 Cobertura actual según el área de la unidad hidrográfica 44
Tabla 24 Grupo hidrológico según el área de la unidad hidrográfica 44

FIGURAS

Figura 1 Localización a nivel departamental 8
Figura 2 Localización a nivel municipal 9
Figura 3 Ubicación e información estación pluviométrica de la zona de estudio 10
Figura 4 Periodos de retorno para el diseño de obras de drenaje vial 14
Figura 5 Berma-cuneta recomendada en la CARTILLA DE OBRAS MENORES DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS VIALES PROGRAMA COLOMBIA RURAL 19
Figura 6 Lámina de agua en la berma - Cuneta recomendada en la Cartilla de Colombia Rural 19
Figura 7 Curva IPL para pendientes de 2 a 20% CE= 0,26 27

IMAGEN

Grafica 1 Comportamiento el régimen de lluvias de la zona de influencia de la estación .. 11
Grafica 2 Curvas de IDF Estación Pluviométrica VALLE DE SAN JOSE [24020080] 18

1. INTRODUCCION

En el municipio de Mogotes se realiza el Estudio hidrológico e hidráulico para el proyecto; Mejoramiento de la vía rural que comunica el casco urbano con la vereda Santa Lucia del municipio de Mogotes – Santander.

El presente estudio se encuentra enmarcado en dos etapas de evaluación: La primera consiste en un estudio hidrológico del sector con el fin de determinar, mediante un modelo de lluvia-escorrentía, el caudal de aporte generado por un área aferente; la segunda se enfoca en el dimensionamiento de las estructuras hidráulicas existentes y/o proyectadas conforme a las especificaciones técnicas, los lineamientos y las recomendaciones contemplados para este tipo de estudios en el **MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS DEL INVIAS – 2009 y LA CARTILLA DE OBRAS MENORES DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS VIALES PROGRAMA COLOMBIA RURAL,** lo anterior con la finalidad de determinar si cada una de estas obras hidráulicas es capaz de drenar la escorrentía superficial generada por sus áreas aferentes garantizando así el correcto funcionamiento de las vías en estudio.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este estudio es identificar y cuantificar las condiciones climáticas e hidrológicas existentes en el área de influencia del proyecto, con el fin de dimensionar y diseñar adecuadamente las obras menores de drenaje superficial de la vía como cunetas y box culvert. Para ello, los estudios se han concentrado en calcular el caudal máximo instantáneo de diseño asignado a un periodo de retorno específico y a partir de éste realizar los cálculos hidráulicos de las obras de drenaje superficial de la vía a pavimentar.

2.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Realizar la caracterización climatológica de la zona de estudio a partir de la información pluviométrica.
- Delimitar las áreas de drenaje aferentes a las corrientes intervenidas por la proyección del alineamiento vial.
- Realizar el cálculo de los caudales de diseño de las distintas obras de drenaje propuestas por **EL MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS DEL INVIAS – 2009 y LA CARTILLA DE OBRAS MENORES DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS VIALES PROGRAMA COLOMBIA RURAL**, para los periodos de retorno sugeridos dentro de la misma.
- Realizar el análisis del dimensionamiento propuesto por **EL MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS DEL INVIAS – 2009 y LA CARTILLA DE OBRAS MENORES DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS VIALES PROGRAMA COLOMBIA RURAL** de las diferentes estructuras hidráulicas requeridas para garantizar el adecuado drenaje del agua lluvia en las vías en estudio en el presente proyecto.

3. ALCANCE

Elaborar el estudio hidrológico del sector en estudio, identificando el tipo de régimen de precipitación que se presente en la zona con el fin de determinar los caudales de diseño a diferentes periodos, que permitan analizar la implementación de infraestructura vial que recomienda en **EL MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS DEL INVIAS – 2009 y LA CARTILLA DE OBRAS MENORES DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS VIALES PROGRAMA COLOMBIA RURAL** para que se garantice el continuo funcionamiento y la estabilidad de la obra a ejecutar en la vía.

4. GENERALIDADES

4.1. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Mogotes se encuentra entre las coordenadas planas: X= 1.195.000 m.N a la X = 1.225.000 m. N. coordenada Y= 1.109.000 m. E a la Y = 1.138.000 m.E La cabecera municipal se encuentra localizada geográficamente a 6° 29´ latitud norte y 72° 58´ de longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich.

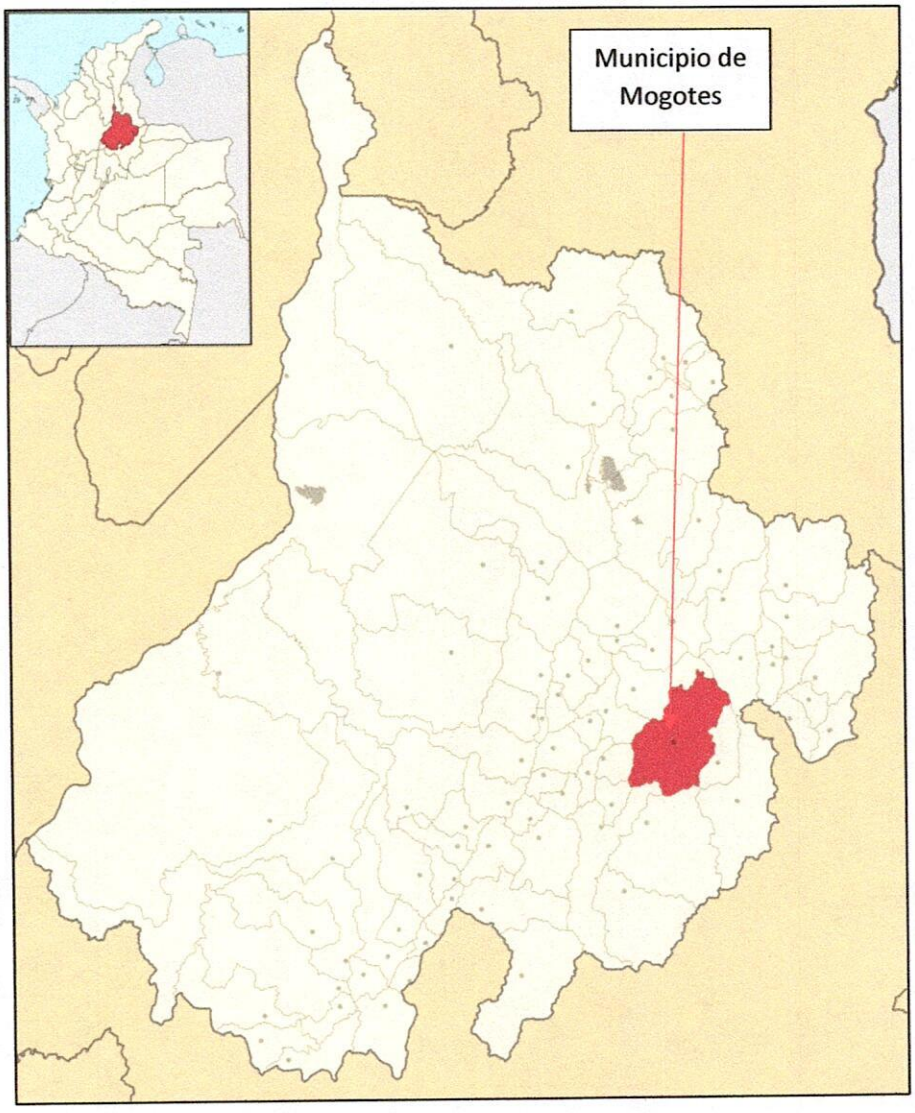
Límites del municipio: Territorialmente limita por el norte con el municipio de Molagavita y con Curití; por el oriente con San Joaquín; al occidente con Curití, San Gil y Valle de San José, y al sur con Ocamonte y Charalá.

Físicamente limita por el norte con el río Chicamocha, que lo separa del municipio de Molagavita; al noroccidente con los altos de la Mesa, y de Manchadores, y la cuchilla de Palo Cortado que lo delimitan del municipio de Curiti; al oriente con la quebrada Covaria y las cuchillas del Contento y San Antonio, el alto de los Cacaos, que lo limitan con San Joaquín; al sur la cuchilla de San José, los ríos Riachuelo y Santa Lucía que lo separan de Coromoro, Charalá y Ocamonte, y al occidente la quebrada la Vega y el río Guare que lo separan del municipio de Valle de San José, y el río Mogoticos del municipio de San Gil.

Extensión total: 487,86 km² Extensión área urbana: 0,63 km² Extensión área rural: 487,2 km² Altitud (metros sobre el nivel del mar): 1700 Temperatura media: 18.6 C.

La cabecera municipal está ubicada a 33 km del municipio de San Gil, a 29 de San Joaquín y a 47 de Onzaga, en el margen izquierdo del río Mogoticos, y en su margen derecha se encuentran los barrios La Lomita y 29 de Octubre.

Figura 1 Localización a nivel departamental

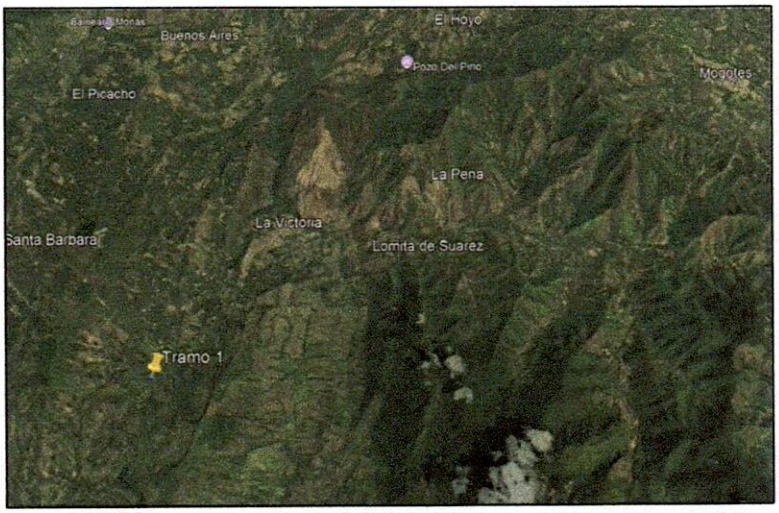


Fuente: Google Wikipedia

4.2. LOCALIZACION DEL PROYECTO

La localización particular del proyecto se llevará a cabo en la vereda Santa Lucia del municipio de Mogotes - Santander, cuyo fin en la pavimentación de 80 m de placa huella y la construcción de una estructura de drenaje tipo Box Culvert. En la siguiente figura se presenta la localización general de los tramos en estudio.

Figura 2 Localización a nivel municipal



Fuente: Google Earth Pro

5. ANALISIS HIDROLOGICO

Para el análisis hidrológico del área de intervención se tiene en cuenta la localización geográfica, en la cual se puede evidenciar que el tramo objeto del proyecto denominado "Mejoramiento de la via rural que comunica el casco urbano con la vereda Santa Lucia", localizado en zona rural del municipio de Mogotes - Santander, se encuentra interceptado por una fuente hídrica natural, por lo cual se realiza delimitación de la cuenca y calculo del caudal con el fin de diseñar la obra hidráulica tipo Box Culvert para realizar el manejo del agua que pasa por la via, el sector de vía del proyecto se caracteriza por paisajes Montañoso, en las áreas de estudio predominan bosque y pasto.

A continuación, se presenta una tabla donde se describen el área aferente del tramo de via con sus abscisas.

Tabla 1 Datos de los tramos con su área aferente, longitud, abscisas, cotas y pendientes

UBICACIÓN	TRAMO	ABSCISA		AREA AFERENTE (KM^2)	LONGITUD (m)	COTA INICIO (m)	COTA FIN (m)	PENDIENTE (%)
		INICIO	FINAL					
MUNICIPIO DE MOGOTES - SANTANDER	TRAMO I VDA SANTA LUCIA SECTOR LA CULEBRA	K0+281,85	K0+200	0,002205	81,85	1647,94	1631,694	-19,8

Fuente: Autor

El análisis hidrológico e hidráulico se realiza de acuerdo a la cota del terreno de Mayor altura a la cota de menor altura.

5.1. INFORMACION HIDROMETEOROLOGICAS

Para la caracterización climática del estudio hidrológico se consultó en el IDEAM las estaciones existentes en la zona del proyecto, encontrándose como la más cercana la estación VALLE DE SAN JOSE [24020080], de tipo Pluviométrica con registros de precipitación desde el año 1995 hasta el año 2023, aportando una buena cantidad de información, suficiente para los estudios requeridos en el presente proyecto.

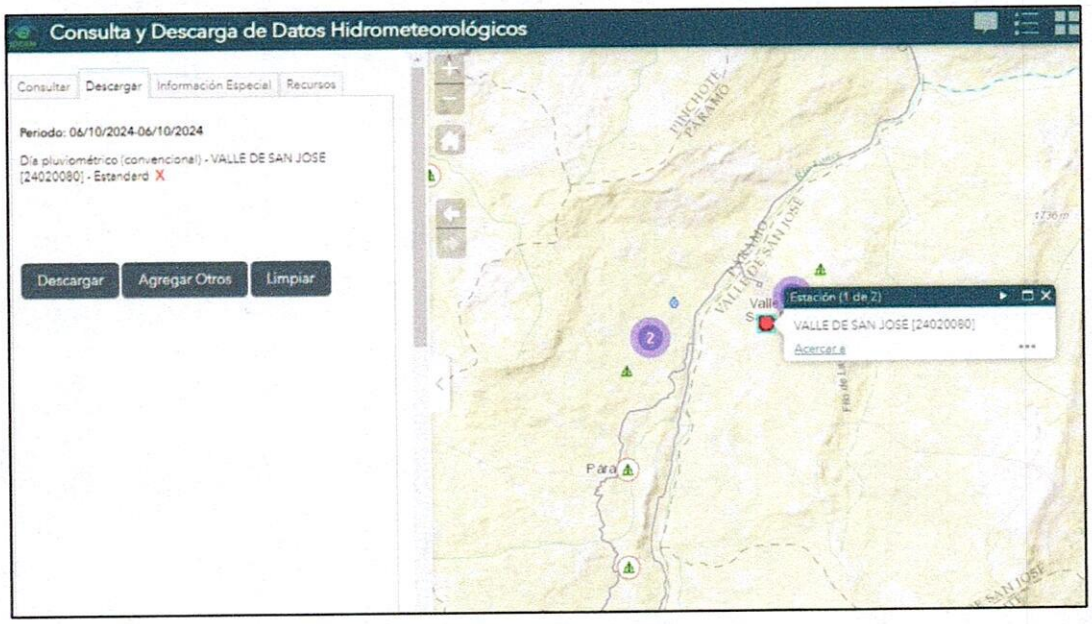
Tabla 2 Datos de la estación Pluviométrica utilizada en el área de estudio

ESTACION PLUVIOMETRICA							
CODIGO	TIPO	ESTACION	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	ELEVACION (m.s.n.m)	LATITUD (N)	LONGITUD (W)
24020080	PM	VALLE DE SAN JOSE	VALLE DE SAN JOSE	SANTANDER	1300	6,448	-73,142

Fuente: Autor

Figura 3 Ubicación e información estación pluviométrica de la zona de estudio

ESTACION VALLE DE SAN JOSE [24020080]



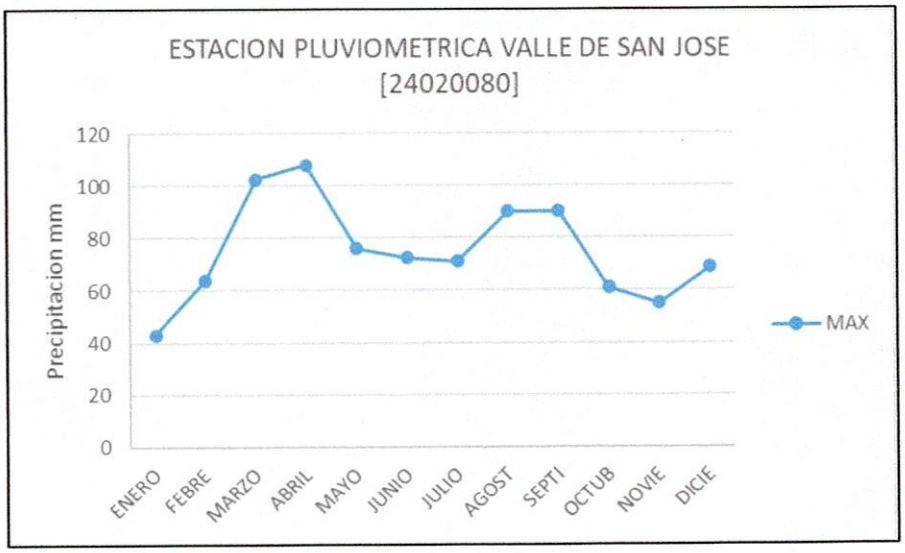
Fuente: IDEAM

5.2. ANÁLISIS DE LLUVIAS

5.2.1. Precipitación

El área de influencia pluviométrica comprendida en el presente estudio para este caso las cuencas de las superficies que ejercen influencia en los tramos de la vía donde se ubica el proyecto, se analizó el histórico de datos de los VALORES MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN REGISTRADO EN VEINTICUATRO (24) HORAS, donde si se analiza el comportamiento de las precipitaciones promedio de los valores máximos precipitación en 24 hora, de las estaciones Pluviométrica analizadas se evidencia la presencia de dos periodos diferenciados que es una característica bimodal, estos periodos tienen la característica que se repiten en dos ocasiones cada uno, según la estación VALLE DE SAN JOSE [24020080], los periodos de bajas precipitaciones (época seca), abarca los meses de Enero, Febrero y de Mayo a Junio con eventos de precipitaciones bajas y otro periodo con régimen de bajas precipitaciones de Noviembre a Diciembre y los periodos de altas precipitaciones (época lluviosa) que se hacen presentes en los meses de Enero, Marzo, Abril y agosto septiembre, presentando un comportamiento de régimen bimodal, a continuación, se presenta el comportamiento de la estación.
Se relacionan los datos de la estación ya que son las más cercanas a la zona de estudio.

Grafica 1 Comportamiento el régimen de lluvias de la zona de influencia de la estación



Fuente: Autor

5.3. METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE ESCORRENTIA DE LA VIA

La metodología utilizada para el presente estudio se deriva de las recomendaciones para el diseño del drenaje superficial de **MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS DEL INVIAS – 2009** que a su vez se fundamenta en el **LA CARTILLA DE OBRAS MENORES DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS VIALES PROGRAMA COLOMBIA RURAL.**

Consideraciones a tener en cuenta para lograr un buen drenaje:

- El agua no debe circular en cantidades excesivas por la superficie de rodadura formando charcos y baches.
- Evitar que el agua de las cunetas humedezca los terraplenes originando asentamientos en la corona de la vía.
- Evitar que las aguas subterráneas reblandezcan la cimentación del pavimento.

5.3.1. Determinación de caudales para diseño hidráulico

Consultar en el IDEAM los registros históricos de la precipitación máxima registrada en veinticuatro (24) horas en la estación meteorológica representativa más cercana a la ubicación del proyecto.

1. Para la ejecución de este proyecto se identificó la estacion pluviométrica VALLE DE SAN JOSE [24020080], para cada año de la serie histórica, el valor máximo de precipitación registrado en veinticuatro (24) horas.

A continuación, se presenta los datos de la estacion:

Tabla 3 Valores máximos mensuales de precipitación (mm) en 24 horas estación pluviométrica – VALLE DE SAN JOSE [24020080]

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION (mms) EN 24 HORAS

FECHA DE PROCESO : 1/10/2024 ESTACION : VALLE DE SAN JOSE [24020080]

LATITUD 6,441 N TIPO DE ESTACION: PM DEPTO: SANTANDER
LONGITUD -73.142 W ENTIDAD: 01 IDEAM MUNICIPIO: VALLE DE SAN JOSE
ELEVACION 1300 m.s.n.m. REGIONAL: 08 SANTANDER

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VALOR MAXIMO
1995	10	20	20	40	55	40	50	30	40	35	20	20	55
1996	20	20	30	20	40	26	40	44	30	38	30	30	44
1997	23	28	30	30	32	27	30	40	90	41	34	20	90
1998	1	25	31	16	25	22	40	80	50	50	20	22	80
1999	12	18	80	25	35	40	40	25	40	33	25	18	80
2000	4	35	20	23	25	60	35	35	25	34	40	10	60
2001	25	25	20	35	32	30	15	40	32	15	45	44	45
2002	24	10	25	40	60	60	16	30	31	60	20	12	60
2003	15	8	47	40	45	25	18	25	50	60	34	6	60
2004	6	18	28	40	36	30	30	30	27	40	30	10	40
2005	30	40	3	38	25	25	26	30	30	32	40	16	40
2006	11	2	30	22	42	32	30	90	32	40	30,4	4,2	90
2007	10	12,3	30,2	40,7	37,3	25,2	27,2	30,3	22,3	30,6	26,1	20,4	40,7
2008	22,4	18,3	8,2	30,6	40,6	52,2	52,3	22,2	27,5	34,2	20,7	6,3	52,3
2009	10	20	38,5	20	24,5	27,5	70,9	76,5	18,7	40	50,2	68,8	76,5
2010	0	64	33,8	108	36,5	49,5	50,2	20,1	87,4	56,7	35,4	8,5	108
2011	14,3	23,4	102,6	64,7	47,8	72,3	38,6	50	47,3	39,3	35,2	11,7	102,6
2012	5	19	61,5	52,1	38,4	25,2	32,1	40,2	22,4	34,6	38,6	8,3	61,5
2013	5,1	14,4	22	52,6	58,4	43,2	38,4	64,8	15,8	47,8	36,2	28,3	64,8
2014	13,5	16,5	12,8	51	53,5	24,1	24,5	55,3	44,6	35,4	45,6	42,2	55,3
2015	12,6	22,5	35,4	45,2	36,4	14,3	26	30,4	35,6	32,4	31	22	45,2
2016	7,6	5,9	42,5	68,3	47,5	28,2	39,8	42,1	62,3	57	45,4	32,4	68,3
2017	19	24,5	55,5	54,2	54,3	61,5	46,8	28,6	42,3	50,6	37,6	0	61,5
2018	43	10,2	48,6	45,7	68,4	42,3	47,8	45,8	35,2	50	20,2	0	68,4
2019	16,7	22	19,5	38,5	76	45,4	45,3	38,4	49,3	38,7	28,2	12,6	76
2020	15,8	3,1	74,5	51,2	56,9	38,4	35,6	42	48,6	45,6	55	9	74,5
2021	21,8	28,3	44,3	35,8	25,3	34,5	45,6	28,2	71,6	37,1	27	0	71,6
2022	0	37,5	40	45,6	48,7	67,8	45,4	35,5	46,5	35,6	40,7	0	67,8
2023	25	59,2	48	41,7	42,7	32,4	37,8	33,5	35,6	61	35,9	5,2	61
MEDIOS	14,58	22,42	37,31	41,89	42,94	37,97	37,04	40,79	41,03	41,54	33,70	16,82	**34,00**
MAXIMOS	43	64	102,6	108	76	72,3	70,9	90	90	61	55	68,8	**108**
MINIMOS	0	2	3	16	24,5	14,3	15	20,1	15,8	15	20	0	**0**

Fuente: Información obtenida a través del IDEAM

2. La intensidad de la lluvia se calculó para diferentes duraciones de aguacero y para cada año de la serie histórica. Generalmente se utilizan duraciones de aguacero de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 y 100 minutos.
3. Según el manual de drenaje del INVIAS se tomará como mínimo un tiempo de concentración igual al 15 min, con el fin de tener en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en una hoya.
4. Según los periodos de retorno presentados en la siguiente tabla y recomendados en el Manual de Drenaje Vial del INV 2009, las obras que se contemplan en el respectivo proyecto son el diseño de cunetas y de un box culvert.

Figura 4 Periodos de retorno para el diseño de 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: Manual de Drenaje Vial del INV 2009

5. Para determinar la intensidad de la lluvia de la via se puede aplicar la Metodología Simplificada de cálculo de las curvas intensidad – duración – frecuencia indicada en el Manual de Drenaje de Carreteras del INV 2009, en el cual se recomienda la utilización de la precipitación máxima promedio anual en 24 horas y aplicar la expresión que a continuación se indica:

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{t/60^c}$$

Dónde:

¡: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).

T: Periodo de retorno, en años.

M: Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual

t: Duración de la lluvia, en minutos (min).

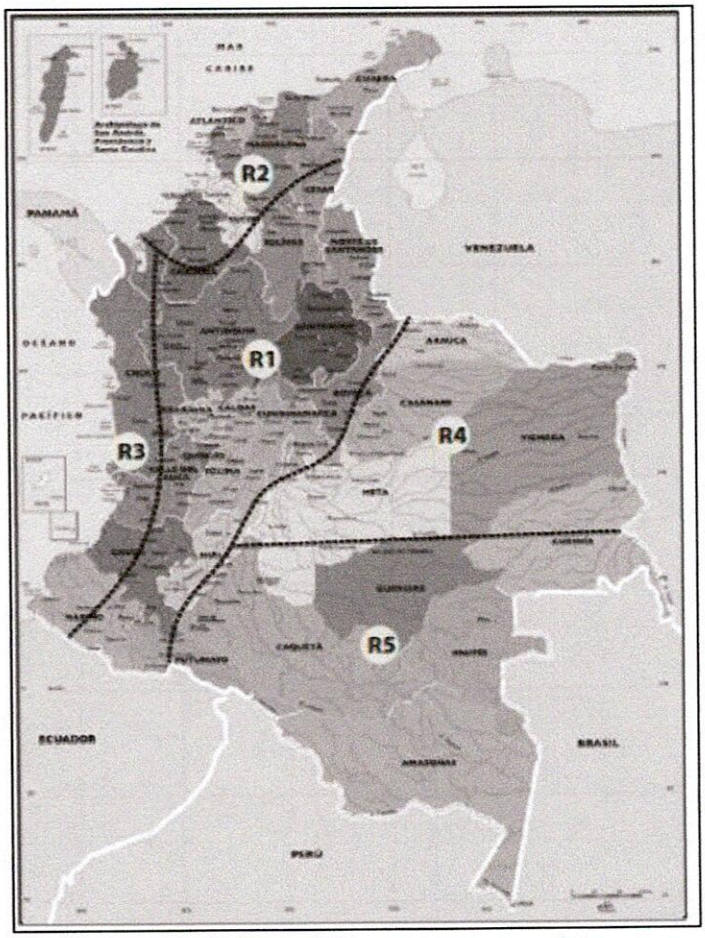
a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados como se presenta en la imagen 1 y sus valores representan en la siguiente Tabla.

Tabla 4 Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad — duración-frecuencia, IDF, para Colombia

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Manual de drenaje para carreteras 2009, pág. 71.

Imagen 1 regiones en Colombia para definición de los parámetros a, b, c y d



Fuente: Manual de drenaje para carreteras 2009

Tabla 5 Valores para el cálculo de la precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual (M)

ESTACIÓN PLUVIOMETRICA VALLE DE SAN JOSE	
PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL HISTÓRICA EN 24 HORAS	
AÑO	PRECIPITACION (mm)
1995	55
1996	44
1997	90
1998	80
1999	80
2000	60
2001	45
2002	60
2003	60
2004	40
2005	40
2006	90
2007	40,7
2008	52,3
2009	76,5
2010	108
2011	102,6
2012	61,5
2013	64,8
2014	55,3
2015	45,2
2016	68,3
2017	61,5
2018	68,4
2019	76
2020	74,5
2021	71,6
2022	67,8
2023	61
Número de Datos=	29
Media=	65,52
Desviación Típica=	17,85
Coeficiente de Asimetría=	0,58

Fuente: Autor

Tabla 6 Parámetros de la región 1

Parametros ara la Region 1:	
a=	0,94
b=	0,18
c=	0,66
d=	0,83
M=	65,52

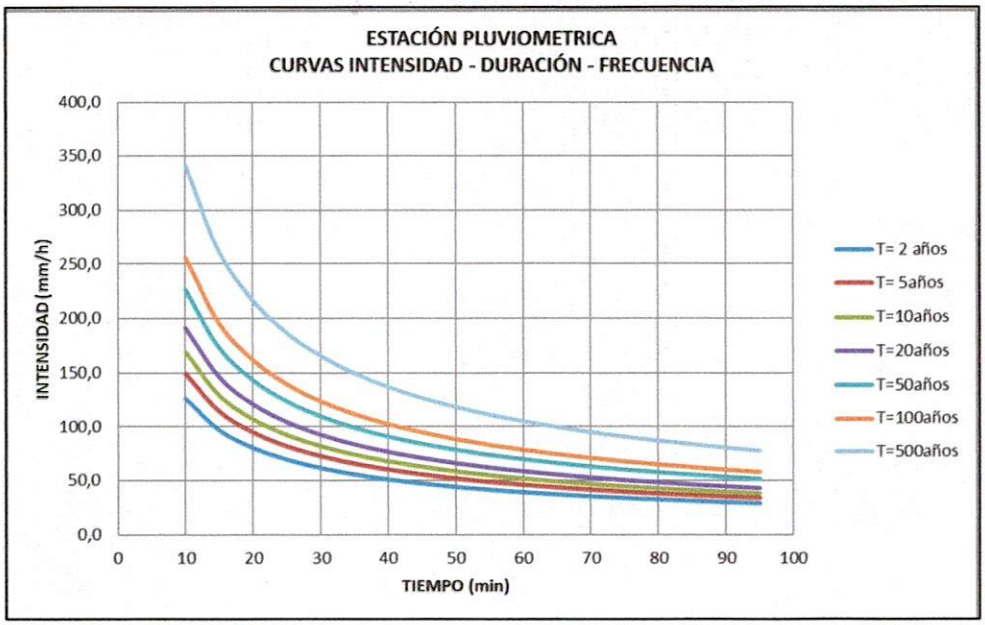
Fuente: Autor

Tabla 7 Valores de Intensidad, Duración, Frecuencia, Estación Pluviométrica VALLE DE SAN JOSE [24020080]

ESTACIÓN PLUVIOMETRICA							
INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA							
(valores en mm/h)							
TIEMPO	PERÍODO DE RETORNO (Años)						
(min)	2	5	10	20	50	100	500
10	111,8	131,9	149,4	169,2	199,6	226,1	302,1
15	85,6	100,9	114,3	129,5	152,7	173,0	231,1
20	70,8	83,4	94,5	107,1	126,3	143,1	191,2
25	61,1	72,0	81,6	92,4	109,0	123,5	165,0
30	54,1	63,9	72,3	82,0	96,6	109,5	146,3
35	48,9	57,7	65,3	74,0	87,3	98,9	132,1
40	44,8	52,8	59,8	67,8	79,9	90,6	121,0
45	41,4	48,9	55,4	62,7	74,0	83,8	111,9
50	38,6	45,6	51,6	58,5	69,0	78,2	104,4
55	36,3	42,8	48,5	54,9	64,8	73,4	98,1
60	34,3	40,4	45,8	51,9	61,2	69,3	92,6
65	32,5	38,3	43,4	49,2	58,0	65,7	87,8
70	31,0	36,5	41,4	46,8	55,3	62,6	83,6
75	29,6	34,9	39,5	44,8	52,8	59,8	79,9
80	28,3	33,4	37,9	42,9	50,6	57,3	76,6
85	27,2	32,1	36,4	41,2	48,6	55,1	73,6
90	26,2	30,9	35,0	39,7	46,8	53,0	70,8
95	25,3	29,8	33,8	38,3	45,2	51,2	68,4

Fuente: Autor

Grafica 2 Curvas de IDF Estación Pluviométrica VALLE DE SAN JOSE [24020080]



Fuente: Autor

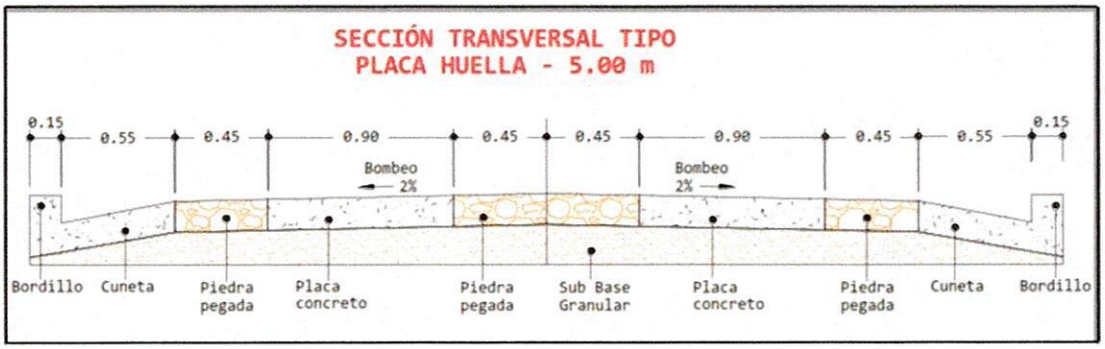
5.3.2. Control hidráulico de la berma – cuneta

5.3.2.1. Berma- cuneta

Para el caso del pavimento con placa-huella es necesario recoger las aguas lluvias provenientes de la placa-huella en dos bermas-cunetas ubicadas lateralmente a la estructura. Estas bermas-cunetas adicionalmente sirven de confinamiento de la estructura del pavimento y de anclaje a las riostras que sirven de confinamiento. La forma y las dimensiones adoptadas para la berma-cuneta que se recomienda en la Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural, permiten que eventualmente la rueda de un vehículo pueda circular por ella con seguridad para permitir el adelantamiento de un vehículo liviano y que el agua proveniente de la superficie de rodadura pueda ser canalizada hasta entregarla a un aliviadero o box culvert.

La forma y las dimensiones de la berma-cuneta recomendada se indican en la siguiente figura.

Figura 5 Berma-cuneta recomendada en la CARTILLA DE OBRAS MENORES DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS VIALES PROGRAMA COLOMBIA RURAL

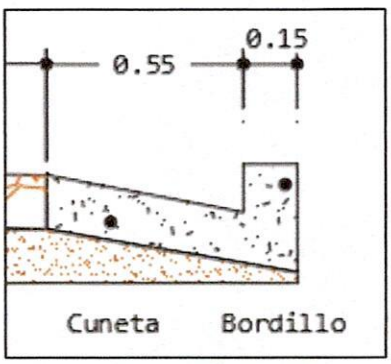


Fuente: CARTILLA DE OBRAS MENORES DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS VIALES PROGRAMA COLOMBIA RURAL

5.3.2.2. Parámetros adoptados para la berma – cuneta recomendada

La lámina de agua que se forma en la berma – cuneta tipo se muestra en la figura.

Figura 6 Lámina de agua en la berma - Cuneta recomendada en la Cartilla de Colombia Rural



Fuente: CARTILLA DE OBRAS MENORES DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS VIALES PROGRAMA COLOMBIA RURAL

Profundidad máxima de la lámina de agua = 0.120 m.
Ancho máximo de la lámina de agua = 0.55 m.
Área hidráulica (a) = 0.0330 m2.
Perímetro mojado = 1.22 m.
Radio Hidráulico (R) = 0.027
Superficie de la cuneta en concreto.
Coeficiente de Manning (n) = 0.014.
Pendiente de la cuneta igual a la pendiente de la rasante de la vía (S).

Pendiente mínima de la vía = Depende terreno.
Pendiente máxima de la vía = Depende del terreno.
Intensidad de la lluvia (I) = Valor obtenido la curva I-D-F.
Duración del aguacero (Tiempo de concentración) = 15 minutos.
Periodo de retorno = 5 años.

Coeficiente de escorrentía (Ce) = 0.26 es el valor de coeficiente de escorrentía escogido para el tramo 1, en la siguiente tabla se especifica las características físicas del terreno para cada uno de los tramos, según los Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales del Manual de Drenaje para Carreteras INV-2009- en la siguiente tabla.

Tabla 8 Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales

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 %			

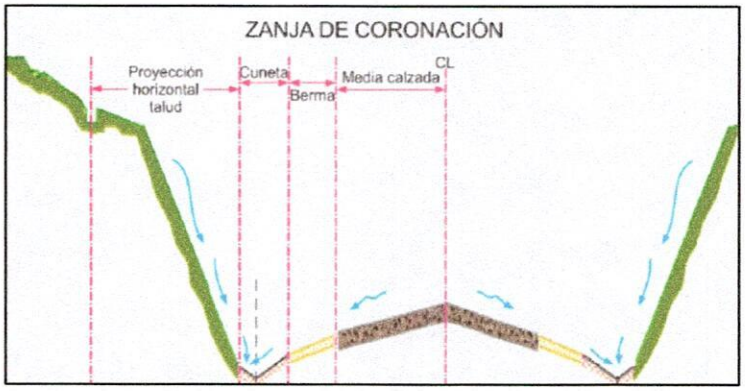
Fuente: manual de drenaje de carreteras INV-2009

Tabla 9 Valor del coeficiente de escorrentía para cada tramo

UBICACIÓN	TRAMO	ABSCISA		AREA AFERENTE (KM^2)	LONGITUD (m)	TIPO DE TERRENO	SUELO	COBERTURA	COBERTURA
		INICIO	FINAL						
MUNICIPIO DE MOGOTES - SANTANDER	TRAMO 1 VDA SANTA LUCIA SECTOR LA CULEBRA	KO+281.85	KO+200	0.00205	81.85	MONTAÑOSO	FRANCO ARENOSO	B Y P	0.26
BOSQUE (B)									
PASTO (P)									
TIERRA CULTIVADA (TC)									

Fuente: Autor

Ancho de Impluvium = 25 m. Este ancho incluye el ancho de superficie de rodadura, ancho de la cuneta, la proyección del talud de corte y un ancho adicional tal como se indica en la Figura.



Fuente: Manual de drenaje de carreteras INV-2009

A continuación, se presenta el análisis hidráulico para el tramo de estudio del municipio de Mogotes acorde a la tabla 1 del presente documento.

6. ANALISIS HIDRAULICO DE LA VIA

Los aspectos que influye tanto en la durabilidad como en el servicio normal de una carretera, corresponden a las condiciones de drenaje establecidas, es decir, un adecuado sistema de drenaje.

El planteamiento del sistema de drenaje para una carretera involucra aspectos de tipo hidrológico e hidráulico que a su vez contempla determinantes de tipo topográfico, es decir, la topografía determina algunos parámetros de las cuencas vertientes como es el tiempo de concentración y aspectos de tipo hidráulico en lo correspondiente a las velocidades y energía del flujo concentrado sobre un cauce.

Las estructuras se analizan separadamente según sean transversales o longitudinales a la vía. Las transversales corresponden a corrientes naturales o a la necesidad de hacer descoles de cunetas.

Las estructuras longitudinales son las cunetas que recogen el agua de la vía y de los cortes o canales. Son obras de canalización y evacuación rápida de la escorrentía de la vía. Las cunetas longitudinales deben proyectarse para recoger las aguas de escorrentía procedentes de la calzada y de los cortes.

6.1. CRITERIOS HIDRAULICOS

Los principales criterios de diseño hidráulico que deben ser considerados según la metodología propuesta en la Cartilla de Colombia Rural y del Manual de Drenaje del INVIAS comprenden:

- El alineamiento de la obra y la pendiente de la misma.
- La topografía del terreno.
- La capacidad de reboce con la que cuenta la cuneta tipo INVIAS.
- El tipo de suelo adyacente al sitio del proyecto.

6.2. HIDRAULICA DE OBRAS

Las obras de drenaje menor se consideran aquellas estructuras tipo, cuneta, alcantarilla y/o box culvert de un cuerpo. De acuerdo a las condiciones topográficas del terreno donde se desarrolla la vía, este tipo de estructuras de drenaje principalmente cumplen una función de transportar e intercomunicar entre los volúmenes de escorrentía que se generan aun lado y otro de la vía. A partir de las condiciones de intensidad de precipitaciones, características del terreno y posibles patrones de concentración de la escorrentía.

En la siguiente tabla se estipulan los parámetros hidráulicos del presente proyecto para el diseño de las obras hidráulicas, basado en la Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural y el manual de drenaje para carreteras INVIAS.

Tabla 10 Parámetros hidráulicos de la cuneta seleccionada para el proyecto

PARAMETROS HIDRAULICOS DE LA CUNETA SELECCIONADA Y DATOS DEL PROYECTO			
PARAMETRO	VALOR	UND	OBSERVACIONES
Profundidad máxima de la lámina de agua	0,120	m	CUNETA TIPO
Ancho máximo de la lámina de agua	0,550	m	
Área hidráulica (a)	0,033	m2	
Perímetro mojado	1,220	m	
Radio Hidráulico (R)	0,027	m	
Superficie de la cuneta en concreto.			
Coeficiente de Manning (n)	0,014		
Pendiente de la cuneta igual a la pendiente de la rasante de la vía (S).			Igual a la pendiente de la rasante de la via (S)
Pendiente mínima de la vía	19,8	%	
Pendiente máxima de la vía	19,8	%	
Intensidad de la lluvia (I)	114,1	mm/h	
Duración del aguacero (Tiempo de concentración)	15	min	
Periodo de retorno	5	años	
Coeficiente de escorrentía (Ce)	0,26		Predomina Pasto y Bosques
Ancho impluvium	25	m	Sector Montañoso

Fuente: Autor

6.3. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE DEMANDA

El diseño hidráulico de las cunetas es similar al de un canal abierto, aunque estrictamente el caudal de la cuneta es variable y aumenta a medida que aumenta su longitud. Como el área tributaria es pequeña (< 5 Km2) se utiliza el método racional para encontrar el caudal:

$$Qe=0.280*C*i*A\gamma$$

Qe = Caudal de escorrentía en m3/seg.
C = Coeficiente de escorrentía.
I = Intensidad para un tiempo de concentración (mm / Horas).
Tiempo de concentración = 15min.
$A\gamma$ = área aferente o tributaria en Km2.
$A\gamma=B*L$

El área aferente para las cunetas está formado por el área dada por el ancho impluvium (B) y la longitud de la cuneta (L).
Mediante la anterior formula se calcula el caudal de escorrentía presentado en la tabla 11 para los tramos de estudio relacionados en la tabla 1 del presente documento, teniendo en cuenta los parámetros hidráulicos de la tabla 10.

Tabla 11 valores de caudal de escorrentía para cada tramo, calculado con la fórmula del método racional

UBICACIÓN	TRAMO	ABSCISA		AREA AFERENTE (KM^2)	LONGITUD (m)	CAUDAL DE ESCORRENTIA (m^3/s) **(CAUDAL HIDROLOGICO)**
		INICIO	FINAL			
MUNICIPIO DE MOGOTES - SANTANDER	TRAMO I VDA SANTA LUCIA SECTOR LA CULEBRA	K0+281,85	K0+200	0,00205	81,850	0,0167

Fuente: Autor

Siguiendo la metodología recomendada y mencionada en el manual de drenaje y la cartilla de Colombia rural para carreteras INVIAS, luego de encontrar el caudal de demanda en el tramo total en donde se desea desarrollar el proyecto, debemos corroborar la capacidad hidráulica de la cuneta tipo (Figura 6), propuesta por la cartilla, empleando el siguiente método establecido por el manual de drenaje:

6.3.1. Determinación del caudal que puede transportar la cuneta tipo

El caudal que puede transportar la cuneta tipo a sección plena, dada una pendiente longitudinal de la vía, se puede encontrar mediante la aplicación de la Ecuación de continuidad y la Fórmula de Manning.

$Qc=V*a$ (Ecuación de continuidad)

$V= 1n/ * S12/* R23/$ (Formula de Manning)

Donde:

Qc = Caudal que puede transportar la cuneta en m3 / seg.
V = Velocidad del agua que circula por la cuneta, en m / seg.
R = Radio Hidráulico en metros.
S = Pendiente de la cuneta en tanto por uno, igual a la pendiente de la rasante de la vía.
n = coeficiente de rugosidad de Manning.
a = Área hidráulica de la sección transversal de la cuneta, en m2.

Dentro del proyecto se manejaron varias pendientes acordes a cada tramo de estudio, a partir de esto se analizó la velocidad y el caudal hidráulico que puede transportar cada cuneta.

Tabla 12 Valores de velocidad y caudal que puede transportar la cuneta tipo a sección plena con variación de la pendiente según el tramo

UBICACIÓN	TRAMO	ABSCISA		PENDIENTE (%)	PENDIENTE (m/m)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL QUE PUEDE TRANSPORTAR LA CUNETA (m^3/s) **(CAUDAL HIDRAULICO)**
		INICIO	FINAL				
MUNICIPIO DE MOGOTES - SANTANDER	TRAMO I VDA SANTA LUCIA SECTOR LA CULEBRA	K0+281.85	K0+200	19.8	0.20	2.864	0.0945

Fuente: Autor

Analizando los valores de caudal de escorrentía establecido en la tabla 11, con los valores de caudal que puede transportar la cuneta según la tabla 12, se observa que la longitud de cuneta calculada, tiene la capacidad de transportar el caudal de la zona de estudio ya que el caudal de escorrentía es menor al caudal de transporte.

6.3.2. Criterio para el cálculo de la distancia de separación entre obras de drenaje

Teniendo en cuenta lo metodología propuesta en la Manual de drenaje en el caso más desfavorable se presenta en las curvas horizontales donde hay peralte y toda la calzada drena hacía la cuneta y simultáneamente se presenta una sección transversal en corte.

- El diseño hidráulico consiste en chequear la capacidad de la cuneta, con el caudal de escorrentía. Es decir, equilibrar Qe = Qc, para encontrar una longitud (L) de cuneta.
- De la igualdad Qe = Qc se obtiene un valor de L, magnitud que indica el sitio donde se rebosa la cuneta y donde es necesario desviar el agua mediante un aliviadero o box culvert. La expresión para el cálculo de L deducida de la igualdad Qe = Qc es:

$$L = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * a * 10^6}{0.280 * n * Ce * I * A_\gamma}$$

- R= Radio Hidráulico en metros = 0.027 m.

Con la anterior expresión se calculan las longitudes de la cuneta para diferentes valores de pendiente de la rasante (S).

- S= pendiente de la cuneta en tanto por uno, igual a la pendiente de la rasante de la vía.
- a= Área hidráulica de la sección transversal de la cuneta, en m2 = 0.033 m2.

- n= coeficiente de rugosidad de Mannning = 0.014.
- Ce= 0.26
- I=114,1 mm/h
- A= ancho Impluvium 25m

6.3.2.1. Curvas intensidad pendiente longitud I-P-L

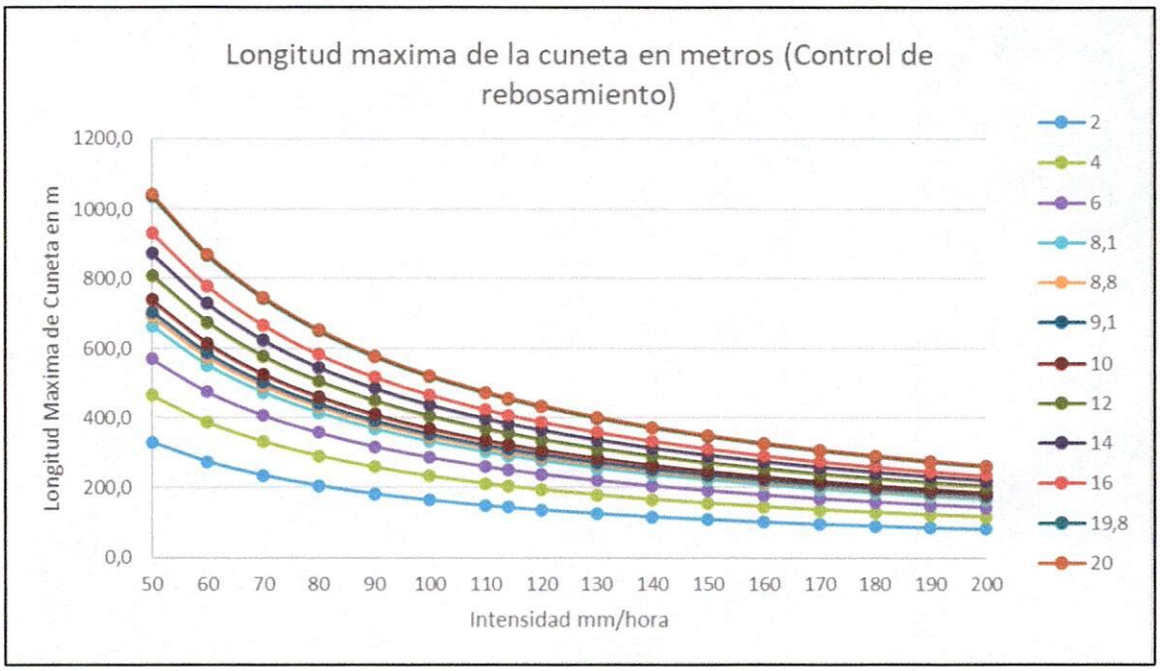
Aplicando los anteriores criterios de diseño se elaboran las curvas I-P-L donde a partir de la Intensidad y las pendientes longitudinales de la vía de cada tramo se puede determinar la longitud máxima de la cuneta de cada uno de los tramos viales en estudio. En la Tablas 13, se indican los valores para estimar las curvas I-P-L y en la figura 7 se presentan las correspondientes curvas.

Tabla 13 Longitudes máximas de la cuneta en metros teniendo en cuenta la intensidad y la pendiente de 2 a 20% CE=0,26

INTENSIDAD (mm/h)	LONGITUDES MAXIMAS DE CUNETAS EN METROS (CONTROL DE REBOSAMIENTO) PENDIENTE LONGITUDINAL DE LA VIA (%)											
	2,0%	4,0%	6,0%	8,1%	8,8%	9,1%	10,0%	12,0%	14,0%	16,0%	19,8%	20,0%
50	329,7	466,2	571,0	663,5	691,6	703,2	737,2	807,6	872,3	932,5	1037,3	1042,6
60	274,7	388,5	475,9	552,9	576,3	586,0	614,3	673,0	726,9	777,1	864,4	868,8
70	235,5	333,0	407,9	473,9	494,0	502,3	526,6	576,8	623,1	666,1	741,0	744,7
80	206,1	291,4	356,9	414,7	432,2	439,5	460,8	504,7	545,2	582,8	648,3	651,6
90	183,2	259,0	317,2	368,6	384,2	390,7	409,6	448,6	484,6	518,1	576,3	579,2
100	164,8	233,1	285,5	331,7	345,8	351,6	368,6	403,8	436,1	**466,2**	**518,7**	**521,3**
110	149,9	211,9	259,6	301,6	314,3	319,7	335,1	367,1	396,5	423,9	471,5	473,9
114,1	**144,5**	**204,3**	**250,2**	**290,7**	**303,0**	**308,2**	**323,1**	**353,9**	**382,2**	**408,6**	**454,6**	**456,9**
120	137,4	194,3	237,9	276,5	288,1	293,0	307,2	336,5	363,4	388,5	432,2	434,4
130	126,8	179,3	219,6	255,2	266,0	270,5	283,5	310,6	335,5	358,7	399,0	401,0
140	117,7	166,5	203,9	237,0	247,0	251,2	263,3	288,4	311,5	333,0	370,5	372,3
150	109,9	155,4	190,3	221,2	230,5	234,4	245,7	269,2	290,8	310,8	345,8	347,5
160	103,0	145,7	178,4	207,3	216,1	219,8	230,4	252,4	272,6	291,4	324,2	325,8
170	97,0	137,1	168,0	195,1	203,4	206,8	216,8	237,5	256,6	274,3	305,1	306,6
180	91,6	129,5	158,6	184,3	192,1	195,3	204,8	224,3	242,3	259,0	288,1	289,6
190	86,8	122,7	150,3	174,6	182,0	185,1	194,0	212,5	229,5	245,4	273,0	274,4
200	82,4	116,6	142,8	165,9	172,9	175,8	184,3	201,9	218,1	233,1	259,3	260,6

Fuente: Autor

Figura 7 Curva IPL para pendientes de 2 a 20% CE= 0,26



Fuente: Autor

- La cuneta propuesta de una longitud (L), debe chequearse contra la acción erosiva del agua, aunque al ser construida en concreto la erosión solo se producirá cuando la velocidad del agua supere los 3 m/seg. La erosión se presentará en longitudes muy largas con fuertes pendientes, longitudes que son superiores a las longitudes (L) de rebosamiento. En conclusión, la cuneta primero se rebosa y luego se erosiona y en el sitio de rebosamiento se ubica un aliviadero o box culvert para la evacuación del agua de la cuneta.

6.3.2.2. Calculo de las longitudes máximas de las cunetas de acuerdo a las pendientes del proyecto

Teniendo en cuenta las pendientes del tramo vial en estudio y de acuerdo a la tabla 13 , figura 7 , se estimó las longitudes máximas de la cunetas donde se debe ubicar el box culvert, tal como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14 Longitudes máximas de la cuneta de acuerdo a las pendientes de los tramos de estudio

UBICACIÓN	TRAMO	ABSCISA		LONGITUD (m)	LONGITUD MAXIMA DE LA CUNETA TIPO DEL PROYECTO	
		INICIO	FINAL		Pendiente %	L (m)
MUNICIPIO DE MOGOTES - SANTANDER	TRAMO 1 VDA SANTA LUCIA SECTOR LA CULEBRA	K0+281,85	K0+200	81,85	-19,8	454,6

Fuente: Autor

Se observa que la longitud de las cunetas proyectadas para los tramos no supera la longitud máxima calculada según la pendiente y la intensidad (Tabla 13) y (Figura 7).

Tabla 15 Estructura de drenaje

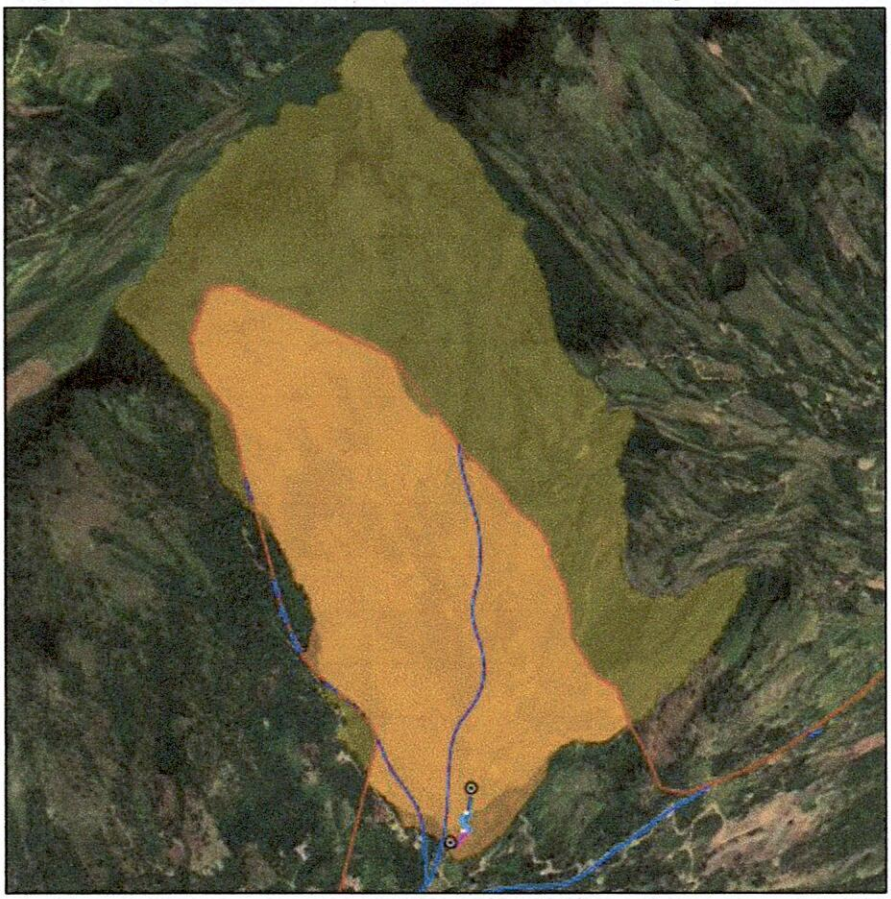
MEJORAMIENTO DE LA VIA RURAL QUE COMUNICA EL CASCO URBANO CON LA VEREDA SANTA LUCIA DEL MUNICIPIO DE MOGOTES, SANTANDER										
TRAMO	DESCRIPCION	LONG (ML)	ANCHO (ML)	LOCALIZACION DEL TRAMO			DESCRIPCIÓN	ABSCISA	COORDENDAS	
				ELEMENTOS	ABSCISA	COORDENADAS				
1	VEREDA SANTA LUCIA SECTOR LA CULEBRA	80	5,00	Inicio Tramo	0+201.85	N: 1199547,863 E: 1109937,086	BOX CULVERT PROYECTADO 2.00 X 2.00	0+200.00	N: 1199549,675 E: 1109936,71	
				Fin Tramo	0+281.85	N: 1199478,873 E: 1109940,182				
TOTAL LONG (ML)		80								

Fuente: Diseño Geométrico

7. CONCLUSIONES DE LA VIA

- La estimación de los caudales hidrológicos e hidráulicos del presente informe se determinaron por el método racional, teniendo en cuenta que las áreas aferentes consideradas son menores a 2.5 Km2.
- El área de la cuenca para el tramo de vía en estudio es de 1,79 km2, por ser un área montañosa se calcula un ancho Impluvium de 25 m, como aparece en los cálculos realizados.
- En la siguiente imagen se observa que el área de la cuenca de la vía se encuentra dentro de la cuenca calculada para el Box Culvert que se proyecta en el siguiente capítulo de este informe.

Imagen 1. Delimitacion de cuenca Box Culvert y via de estudio



Fuente: Autor

Imagen 2. Delimitacion de cuenca via de estudio



Fuente: Autor

De acuerdo a la imagen 2, se aclara que en el área de la cuenca de la vía no tributa toda la escorrentía de la cuenca del Box Culvert, esto debido a la formación montañosa, al tipo de suelo y vegetación de la zona, además el área de la cuenca del Box culvert es mayor a la de la vía por que la quebrada o fuente hídrica a estudiar ya tiene una formación aguas arriba que recibe toda la escorrentía de la zona.

- En base a lo anterior la estimación de los caudales hidrológicos e hidráulicos del informe de la via se determinaron por el método racional, teniendo en cuenta que las áreas aferentes consideradas son menores a 2.5 Km2.
- La estimación de las áreas de drenaje, la proyección y localización de las obras de escorrentía se realizó con base a la topografía suministrada por el contratante.
- En ninguno de los casos evaluados de velocidad de caudal respecto a las pendientes de diseño de la vía se excedió la velocidad permitida, considerándose para las cunetas un valor máximo de 3 m/s según tabla 12, lo cual es un factor relevante en la vida útil y la estabilidad de la obra.

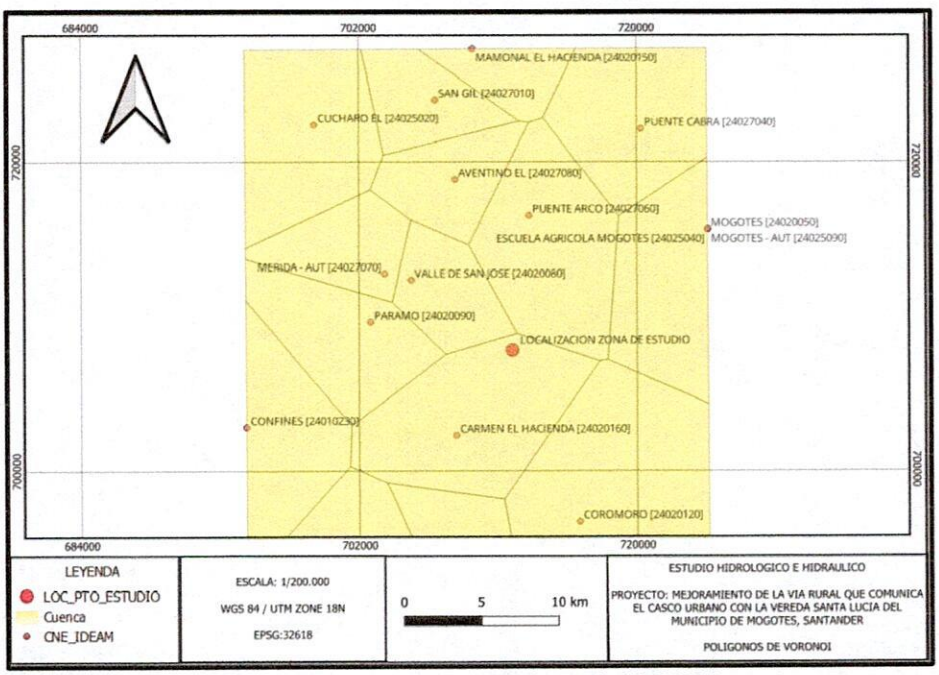
- La capacidad hidráulica de la cuneta es calculada mediante la fórmula de manning la cual es superior al caudal de diseño obtenido para cada tramo, por lo cual se determina que el caudal de capacidad calculado en base a las dimensiones del INVIAS y la fórmula de Manning cumplen para transportar el caudal de diseño hallado con los parámetros de la zona de estudio según la comparación entre la tabla 11 y 12.
- Para el cálculo del caudal el valor de la intensidad está basado en el tiempo de retorno establecido para las obras viales según el manual del INVIAS, figura 4.
- Se recomienda la implementación de la cuneta tipo considerada en la Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural y el manual de drenaje del INVIAS, acatando sus parámetros geométricos y especificaciones técnicas constructivas.
- El estudio hidrológico está basado en la información suministrada por el IDEAM, según la estación pluviométrica VALLE DE SAN JOSE [24020080], ubicada en el municipios objeto de estudio.
- Para el tramo de estudio según tabla 15, se observa en la tabla de 13 que la pendiente del tramo, la longitud a construir no sobre pasa la longitud máxima de la cuneta.
- Se observa en la tabla 11 y 12 que los tramos cumplen, la velocidad no excede el límite y el caudal que transporta no es mayor al caudal de la escorrentía
- Según tabla 15 se proyecta la construcción de un box culvert de 2x2.

8. ANÁLISIS PARA EL BOX CULVERT

8.1. ESPACIALIZACIÓN DE ESTACIONES METEORÓLOGICAS

La siguiente ilustración presenta los polígonos de Thiessen generados a partir de las estaciones mencionadas anteriormente, cada polígono de Thiessen define un área de influencia al redor de la estación que se encuentra contenida en el centro. Generalmente este método se emplea para determinar la lluvia media en una zona, cuando se sabe que las medidas de precipitación en los diferentes pluviómetros sufren variaciones. Para el caso presentado los polígonos de Thiessen se obtuvieron a partir del procesamiento en el software computacional ArcGIS.

Figura 1 Polígonos de Thiessen de las estaciones meteorológicas consideradas



Fuente: Autor con base a datos del IDEAM

De la imagen previamente presentada se resalta que el área de estudio y unidad hidrográfica de interés se encuentra contenida en un polígono correspondientes al área de influencia de la estación pluviométrica del IDEAM VALLE DE SAN JOSE [24020080] del municipio de Valle de San José -Santander la cual abarca la mayor parte de la zona de estudio

Para el caso dado y considerando el área de influencia demarcada con los polígonos de Thiessen previamente expuestos se establece que la estación pluviométrica más cercana al área de estudio que cumple con los criterios mínimos anteriormente mencionados en el ítem **RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE** para el procesamiento de la estadística de tormentas; corresponde a la estación pluviométrica del IDEAM codificada con el número VALLE DE SAN JOSE [24020080] del municipio de Valle de San José-Santander, contando con un registro continuo diario de datos de precipitación de 29 años, desde 1995 hasta el 2024

Tabla 16 Análisis de datos Totales de precipitación mensual multianual de la estación del IDEAM – VALLE DE SAN JOSE [24020080]

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)

FECHA DESCARGA DE DATOS : 24/09/2024 ESTACION : VALLE DE SAN JOSE [24020080]

LATITUD 6.44 N | TIPO DE ESTACION: PM_CON | DEPTO: SANTANDER | FECHA INSTALACION: 15/04/1958 12:00:00 a.
LONGITUD -73.14 W | ENTIDAD: 01 IDEAM | MUNICIPIO: VALLE DE SAN JOSÉ
ELEVACION 1300 m.s.n.m. | AREA OPERATIVA: Area Operativa 08 - Santanderes-Arauca

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VALOR MAXIMO
1995	10	20	20	40	55	40	50	30	40	35	20	20	55.00
1996	20	20	30	20	40	26	40	44	30	38	30	30	44.00
1997	23	28	30	30	32	27	30	40	90	41	34	20	90.00
1998	1	25	31	16	25	22	40	80	50	50	20	22	80.00
1999	12	18	80	25	35	40	40	25	40	33	25	18	80.00
2000	4	35	20	23	25	60	35	35	25	34	40	10	60.00
2001	25	25	20	35	32	30	15	40	32	15	45	44	45.00
2002	24	10	25	40	60	60	16	30	31	60	20	12	60.00
2003	15	8	47	40	45	25	18	25	50	60	34	6	60.00
2004	6	18	28	40	36	30	30	30	27	40	30	10	40.00
2005	30	40	3	38	25	25	26	30	30	32	40	16	40.00
2006	11	2	30	22	42	32	30	90	32	40	30.4	4.2	90.00
2007	10	12.3	30.2	40.7	37.3	25.2	27.2	30.3	22.3	30.6	26.1	20.4	40.70
2008	22.4	18.3	8.2	30.6	40.6	52.2	52.3	22.2	27.5	34.2	20.7	6.3	52.30
2009	10	20	38.5	20	24.5	27.5	70.9	76.5	18.7	40	50.2	68.8	76.50
2010	0	64	33.8	108	36.5	49.5	50.2	20.1	87.4	56.7	35.4	8.5	108.00
2011	14.3	23.4	102.6	64.7	47.8	72.3	38.6	50	47.3	39.3	35.2	11.7	102.60
2012	5	19	61.5	52.1	38.4	25.2	32.1	40.2	22.4	34.6	38.6	8.3	61.50
2013	5.1	14.4	22	52.6	58.4	43.2	38.4	64.8	15.8	47.8	36.2	28.3	64.80
2014	13.5	16.5	12.8	51	53.5	24.1	24.5	55.3	44.6	35.4	45.6	42.2	55.30
2015	12.6	22.5	35.4	45.2	36.4	14.3	26	30.4	35.6	32.4	31	22	45.20
2016	7.6	5.9	42.5	68.3	47.5	28.2	39.8	42.1	62.3	57	45.4	32.4	68.30
2017	19	24.5	55.5	54.2	54.3	61.5	46.8	28.6	42.3	50.6	37.6	0	61.50
2018	43	10.2	48.6	45.7	68.4	42.3	47.8	45.8	35.2	50	20.2	0	68.40
2019	16.7	22	19.5	38.5	76	45.4	45.3	38.4	49.3	38.7	28.2	12.6	76.00
2020	15.8	3.1	74.5	51.2	56.9	38.4	35.6	42	48.6	45.6	55	9	74.50
2021	21.8	28.3	44.3	35.8	25.3	34.5	45.6	28.2	71.6	37.1	27	0	71.60
2022	0	37.5	40	45.6	48.7	67.8	45.4	35.5	46.5	35.6	40.7	0	67.80
2023	25	59.2	48	41.7	42.7	32.4	37.8	33.5	35.6	61	35.9	5.2	61.00
2024	4.6	23	24.6	40	58.8	28.8	40.3	60.4	43.6				60.40
MEDIOS	14.25	22.44	36.88	41.83	43.47	37.66	37.15	41.44	41.12	41.54	33.70	16.82	32.12
MÁXIMOS	43.00	64.00	102.60	108.00	76.00	72.30	70.90	90.00	90.00	61.00	55.00	68.80	108.00
MINIMOS	0.00	2.00	3.00	16.00	24.50	14.30	15.00	20.10	15.80	15.00	20.00	0.00	0.00

Fuente: Autor con base a datos del IDEAM

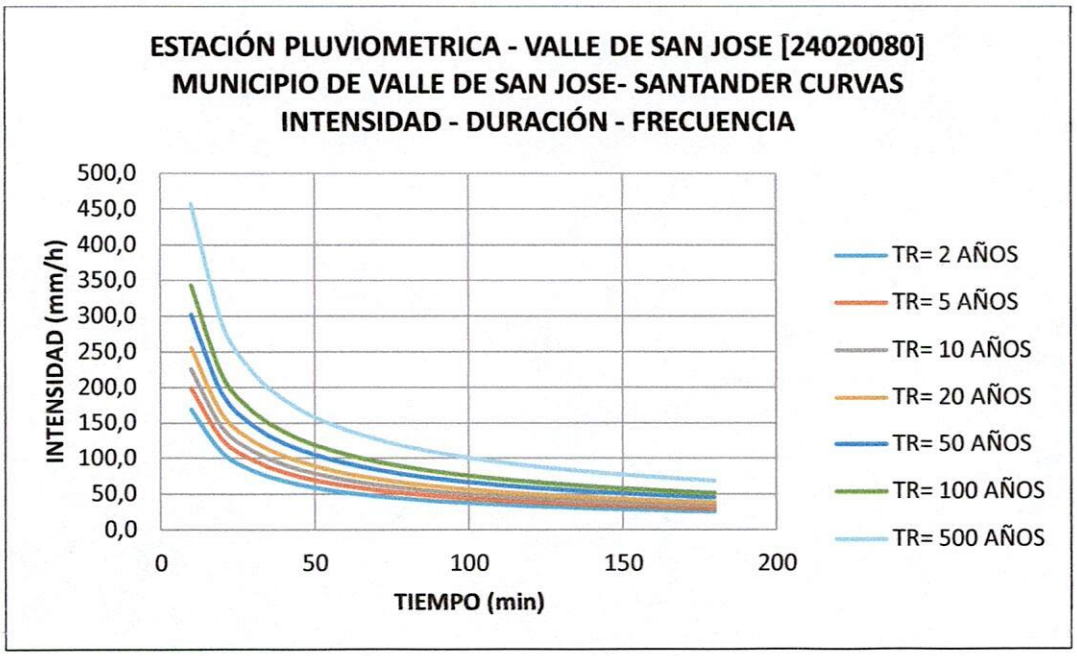
Tabla 17 Tabla de Intensidad - Duración – Frecuencia estación pluviométrica - VALLE DE SAN JOSE [24020080] MUNICIPIO DE VALLE DE SAN JOSÉ-SANTANDER

ESTACIÓN PLUVIOMETRICA -VALLE DE SAN JOSE [24020080] MUNICIPIO DE VALLE DE SAN JOSE-SANTANDER							
INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA							
(valores en mm/h)							
TIEMPO	PERÍODO DE RETORNO (Años)						
(min)	2	5	10	20	50	100	500
10	169.3	199.6	226.2	256.2	302.2	342.3	457.4
20	107.1	126.4	143.1	162.2	191.2	216.7	289.5
30	82.0	96.7	109.5	124.1	146.3	165.8	221.5
40	67.8	80.0	90.6	102.6	121.0	137.1	183.2
50	58.5	69.0	78.2	88.6	104.5	118.3	158.1
60	51.9	61.2	69.3	78.5	92.6	104.9	140.2
70	46.9	55.3	62.6	70.9	83.7	94.8	126.6
80	42.9	50.6	57.3	65.0	76.6	86.8	115.9
90	39.7	46.8	53.0	60.1	70.9	80.3	107.3
100	37.0	43.7	49.5	56.1	66.1	74.9	100.1
110	34.8	41.0	46.5	52.6	62.1	70.3	94.0
120	32.8	38.7	43.9	49.7	58.6	66.4	88.7
130	31.1	36.7	41.6	47.1	55.6	63.0	84.2
140	29.7	35.0	39.6	44.9	52.9	60.0	80.1
150	28.3	33.4	37.9	42.9	50.6	57.3	76.6
160	27.2	32.0	36.3	41.1	48.5	54.9	73.4
170	26.1	30.8	34.9	39.5	46.6	52.8	70.5
180	25.1	29.6	33.6	38.0	44.9	50.8	67.9

Fuente: Autor

Las curvas IDF contemplan periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años y un periodo lluvia de 3horas (180min) analizada, esta duración parte de las recomendaciones del Manual de drenajes para Carreteras. La siguiente figura presenta las curvas IDF por el método simplificado.

Figura 2 Curvas IDF por el método simplificado



Fuente: Autor

8.2. HIETOGRAMA DE DISEÑO

El hietograma de diseño es la representación gráfica de la precipitación no acumulada en el tiempo de duración de la tormenta, la cual se estimó para diferentes periodos de retorno considerando los requerimientos técnicos del proyecto, y los escenarios posteriores para la modelación hidráulica. De acuerdo con las recomendaciones del manual de drenaje para carreteras se toma una duración de tormenta critica de 180 min (3horas), considerando lo anterior también de diseñaron los hietogramas para tormentas con una duración de tres horas. Cabe aclarar que el hietograma se diseñó mediante el método de bloques alternos, el cual parte de las intensidades de las curvas IDF. Las siguientes figuras presentan los hietogramas para distintos periodos de retorno con una duración de tormenta de 3 horas. El detalle de su cálculo se presenta en los anexos.

Tabla 18 Tormenta de Diseño Preliminar

INCREMENTOS ARREGLADOS DE LLUVIAS PUNTUALES DE LOS HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN ÁREA DE INFLUENCIA ESTACIÓN PLUVIOMETRICA - VALLE DE SAN JOSE [24020080] MUNICIPIO DE VALLE DE SAN JOSE-SANTANDER (valores en mm)							
INTERVALO DE TIEMPO	PERÍODO DE RETORNO (Años)						
	2	5	10	20	50	100	500
0-10	1.5	1.7	1.9	2.2	2.6	2.9	3.9
10-20	1.6	1.9	2.1	2.4	2.8	3.2	4.2
20-30	1.7	2.0	2.3	2.6	3.1	3.5	4.7
30-40	1.9	2.3	2.6	2.9	3.4	3.9	5.2
40-50	2.2	2.6	2.9	3.3	3.9	4.4	5.9
50-60	2.5	3.0	3.4	3.8	4.5	5.1	6.9
60-70	3.1	3.7	4.2	4.7	5.6	6.3	8.4
70-80	4.2	5.0	5.6	6.4	7.5	8.5	11.4
80-90	7.5	8.8	10.0	11.3	13.4	15.2	20.3
90-100	28.2	33.3	37.7	42.7	50.4	57.1	76.2
100-110	5.3	6.2	7.1	8.0	9.4	10.7	14.3
110-120	3.6	4.2	4.8	5.4	6.4	7.2	9.6
120-130	2.8	3.3	3.7	4.2	5.0	5.6	7.5
130-140	2.3	2.8	3.1	3.5	4.2	4.7	6.3
140-150	2.0	2.4	2.7	3.1	3.6	4.1	5.5
150-160	1.8	2.1	2.4	2.7	3.2	3.7	4.9
160-170	1.6	1.9	2.2	2.5	2.9	3.3	4.4
170-180	1.5	1.8	2.0	2.3	2.7	3.1	4.1
TOTAL	75.4	88.9	100.7	114.1	134.6	152.4	203.7

Fuente: Autor

Tabla 19 Tormenta de Diseño con Ajuste del área – estación pluviométrica

De acuerdo a la ecuación de Fhrüling							
Con area de estudio = 3510000 m^2							
INCREMENTOS ARREGLADOS DE LLUVIA ESPACIAL DE LOS HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN - ÁREA DE INFLUENCIA ESTACIÓN PLUVIOMETRICA - VALLE DE SAN JOSE [24020080] MUNICIPIO DE VALLE DE SAN JOSE-SANTANDER (valores en mm)							
INTERVALO DE TIEMPO (min)	PERÍODO DE RETORNO (Años)	PERÍODO DE RETORNO (Años)	PERÍODO DE RETORNO (Años)	PERÍODO DE RETORNO (Años)	PERÍODO DE RETORNO (Años)	PERÍODO DE RETORNO (Años)	PERÍODO DE RETORNO (Años)
	2	5	10	20	50	100	500
0-10	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.25	3.00
10-20	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1	2.44	3.25
20-30	1.3	1.6	1.8	2.0	2.4	2.67	3.57
30-40	1.5	1.7	2.0	2.2	2.6	2.97	3.96
40-50	1.7	2.0	2.2	2.5	3.0	3.37	4.50
50-60	1.9	2.3	2.6	2.9	3.5	3.94	5.26
60-70	2.4	2.8	3.2	3.6	4.3	4.83	6.46
70-80	3.2	3.8	4.3	4.9	5.8	6.53	8.72
80-90	5.7	6.8	7.7	8.7	10.3	11.62	15.52
90-100	21.6	25.5	28.9	32.7	38.6	43.72	58.41
100-110	4.0	4.8	5.4	6.1	7.2	8.18	10.93
110-120	2.7	3.2	3.6	4.1	4.9	5.52	7.38
120-130	2.1	2.5	2.9	3.2	3.8	4.33	5.78
130-140	1.8	2.1	2.4	2.7	3.2	3.62	4.84
140-150	1.6	1.8	2.1	2.4	2.8	3.15	4.21
150-160	1.4	1.6	1.9	2.1	2.5	2.81	3.75
160-170	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.55	3.40
170-180	1.2	1.4	1.5	1.7	2.1	2.34	3.12
TOTAL	57.8	68.1	77.2	87.4	103.1	116.8	156.1

Fuente: Autor

8.3. TORMENTA DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

Con los datos de la tabla 19 se construye la gráfica de la tormenta de diseño para cada periodo de retorno.

Figura 3 Hietograma para Tr= 2 años

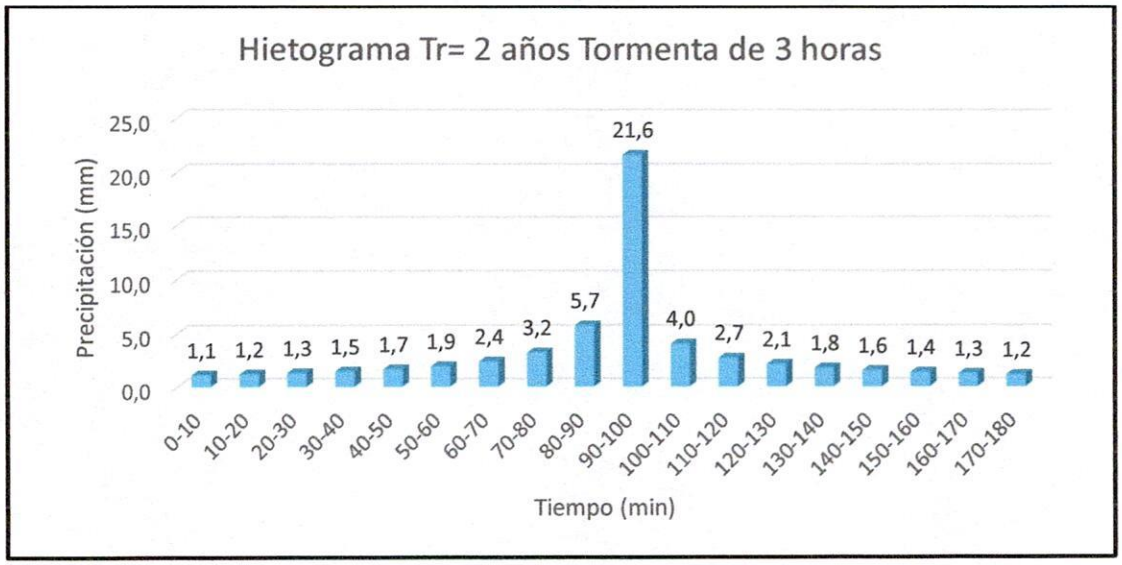


Figura 4 Hietograma para Tr= 5 años

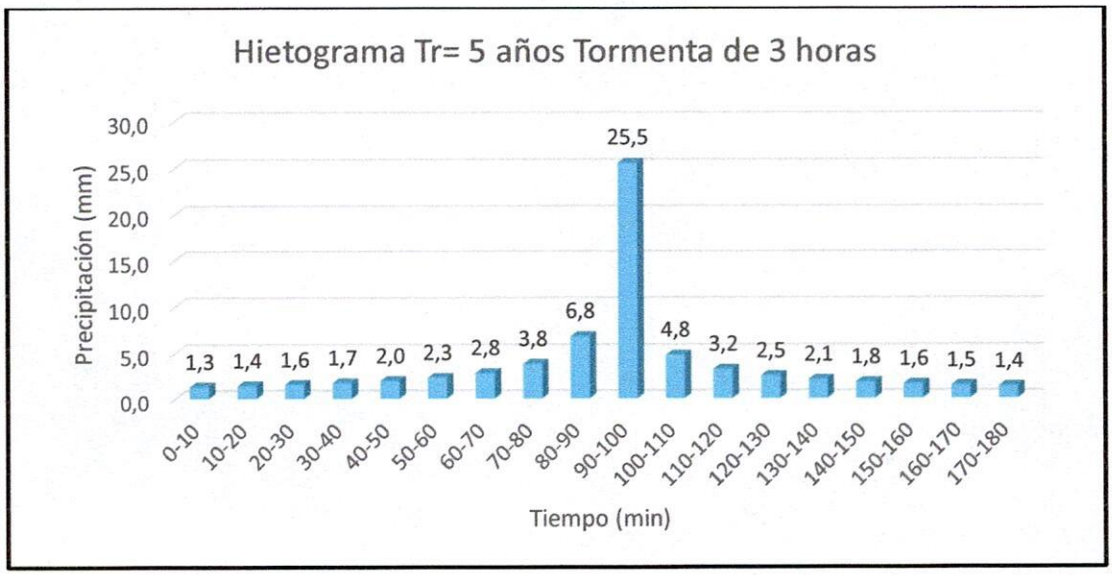


Figura 5 Hietograma para Tr= 10 años

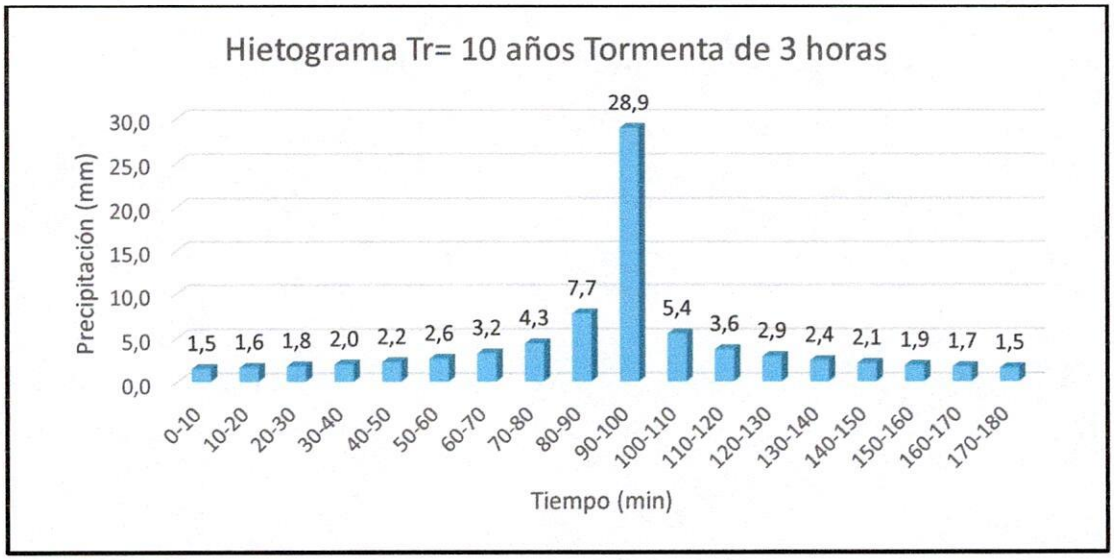


Figura 6 Hietograma para Tr= 20 años

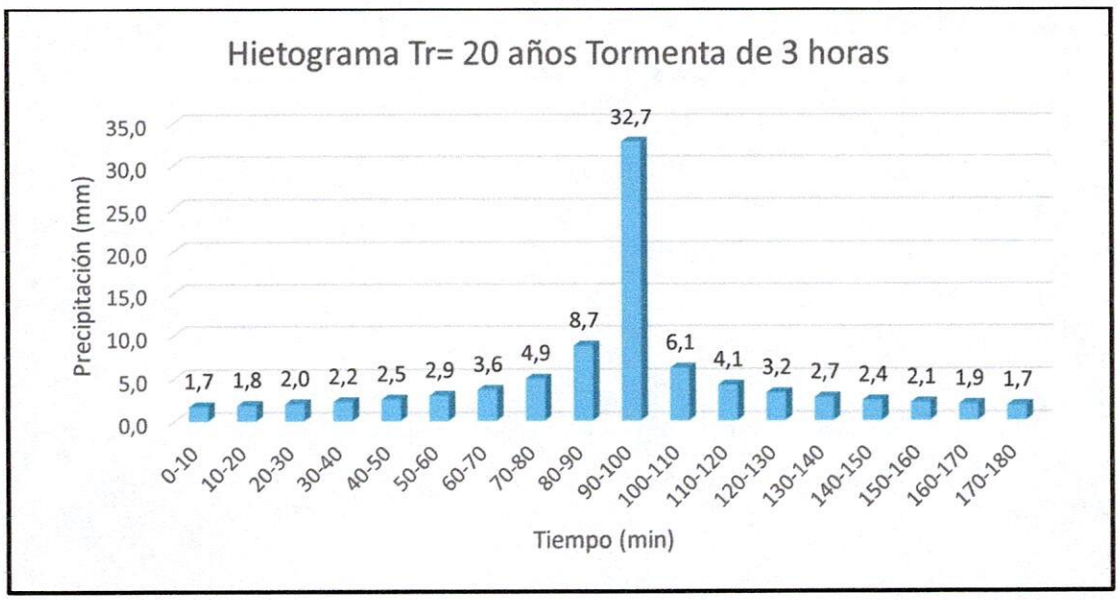


Figura 7 Hietograma para Tr= 50 años

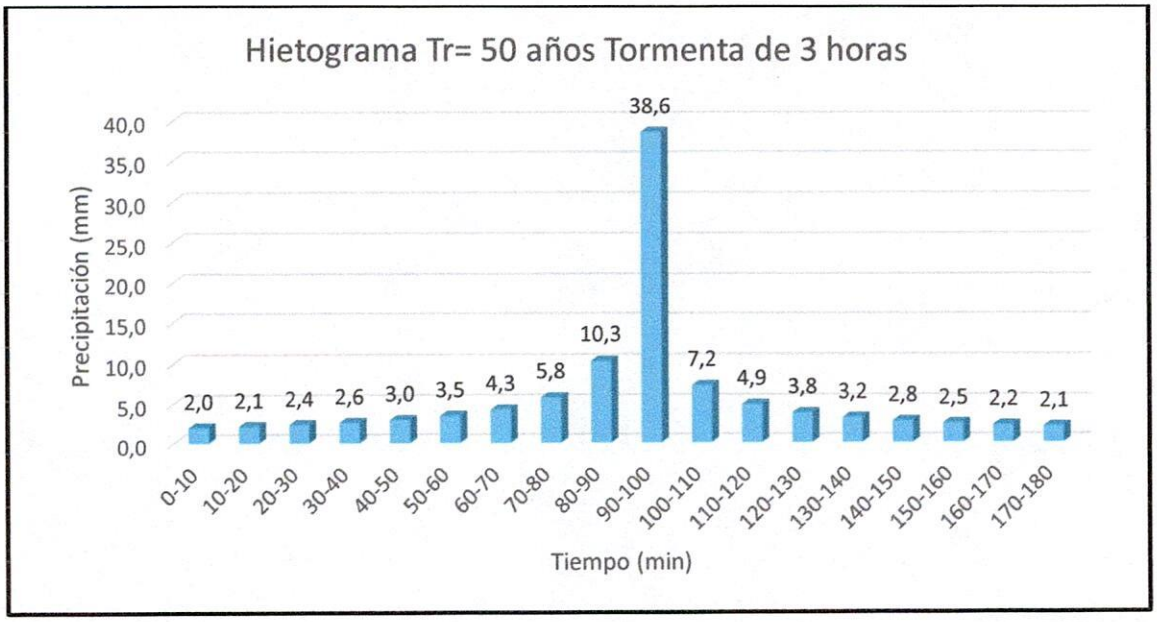


Figura 8 Hietograma para Tr= 100 años

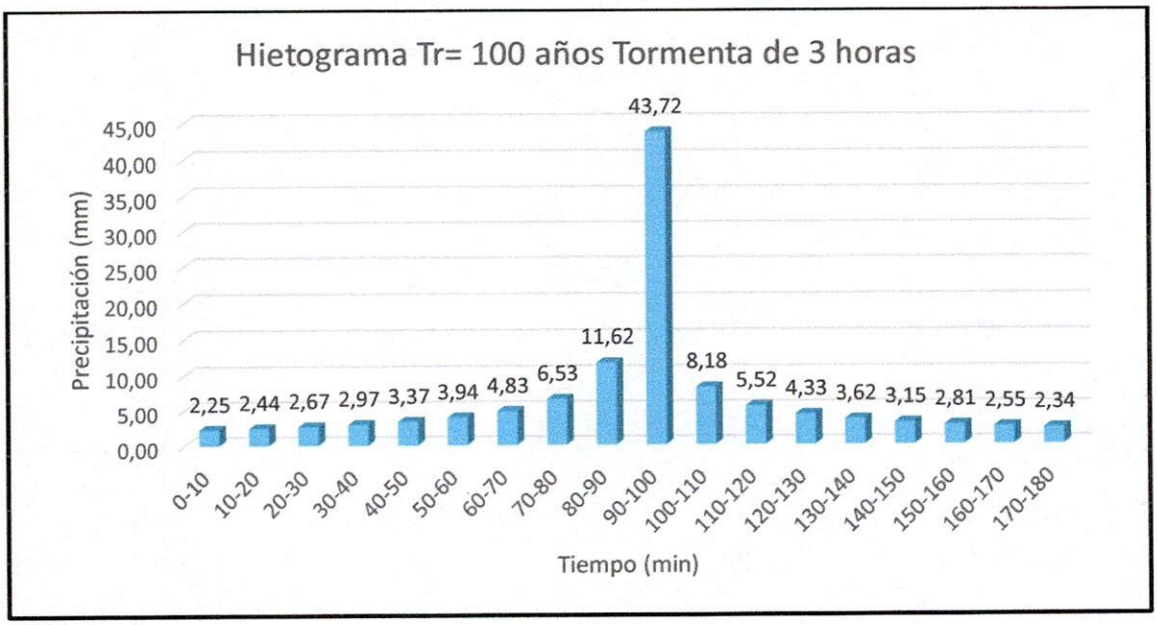
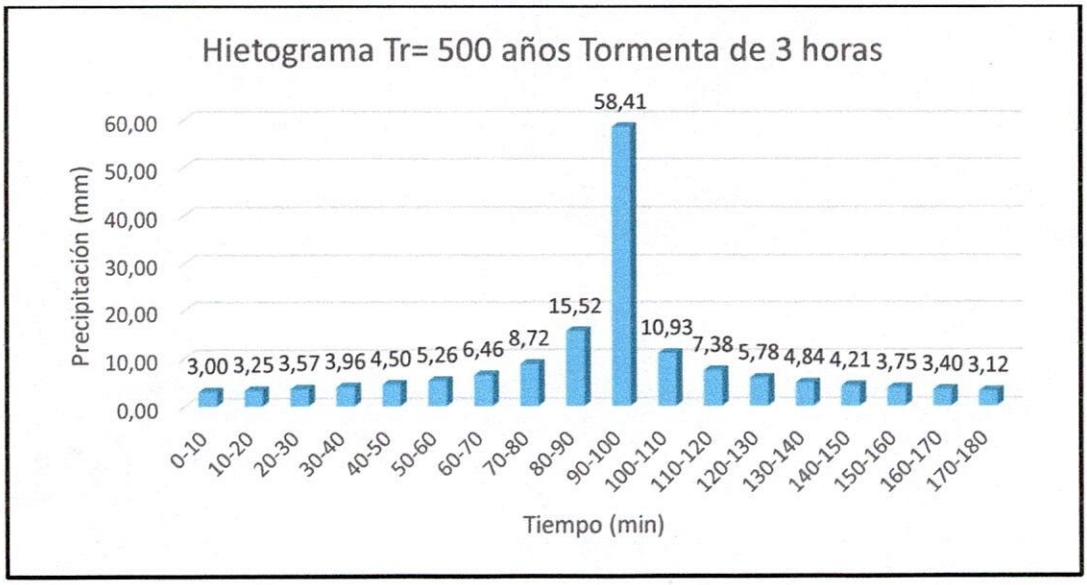


Figura 9 Hietograma para Tr= 500 años



8.4. PARÁMETROS GEOMETRICOS DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA

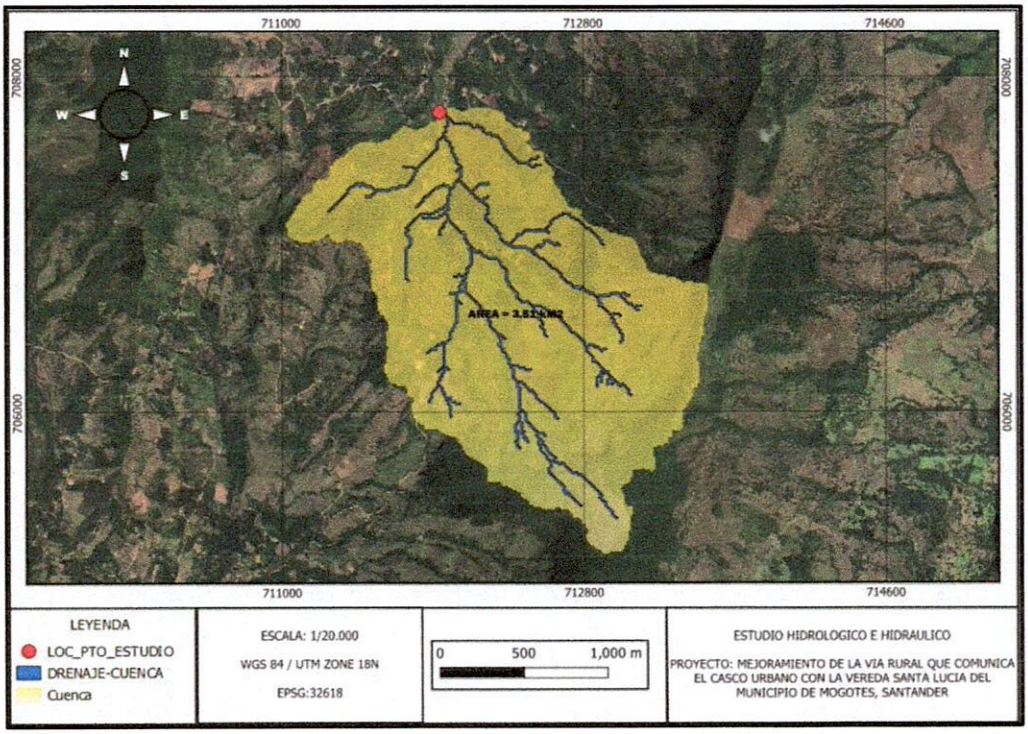
La altura es uno de los parámetros físicos determinantes para establecer la dinámica de las aguas a lo largo de la cuenca o unidad hidrográfica, sin embargo, también depende de la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas del territorio. Por tal motivo es indispensable empezar caracterizando aspectos básicos de la geometría de la cuenca para delimitar y comprender su comportamiento. La siguiente tabla expresa los parámetros geométricos propios de la unidad hidrográfica y subcuencas discretizadas.

Tabla 20 Parámetros geométricos o físicos de la unidad hidrográfica de estudio

Parametros Geometricos							
Descripcion	Area	Perimetro	Long Axial	Coord X	Coord Y	Ancho medio	Ancho máx
	Km2	Km	km	m	m	km	km
Valor	3.51	11.35	3.028	11009936.058	1199550.782	1.51	1.7

Fuente: Autor en coordenadas UTM

Figura 10 Localización de la microcuenca de la zona de estudio



Fuente: Autor

8.5. PARÁMETROS DEL RELIEVE DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA

La altura y elevación es uno de los parámetros determinantes de la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo del área de drenaje. De ella dependen en gran medida la cobertura vegetal, el clima, el tipo de suelo y otras características fisiográficas de un territorio.

Para caracterizar los aspectos que involucran la elevación y pendiente de las unidades hidrográficas inmersas en el área de estudio se empleó como insumo base una imagen satelital de licencia libre de tipo ALOS PALSAR, la cual suministra información de la elevación del terreno mediante un modelo digital de elevación o por sus ciclas en inglés Digital Elevation Model (DEM), su empleo se justifica debido a la dimensión de la cuenca o unidad hidrográfica, que por su extensión dificultaría la toma de un modelo más preciso con drones, adicionalmente dicha extensión no se incluye en los términos de referencia del proyecto.

A manera de resumen se presentan los parámetros de relieve de la unidad hidrográfica de estudio.

Tabla 21 Parámetros del relieve de la unidad hidrográfica de estudio

Parametros del relieve					
Descripcion	Hmax	Hmin	Hmax-Hmin	Hprom	Pendiente promedio
	m.s.n.m	m.s.n.m	m.s.n.m	m.s.n.m	%
Valor	2234	1630	604	1932.0	35.53

Fuente: Autor

- **Cota mayor de la cuenca (CM):** Es la mayor altura a la cual se encuentra la divisoria de la cuenca (msnm).
- **Cota menor de la cuenca (Cm):** Es la cota sobre la cual la cuenca entrega sus aguas a un cauce superior (msnm).
- **Elevación promedio del relieve:** Es la elevación promedio de la cuenca referida al nivel del mar.
- **Histograma de frecuencias altimétricas**: Corresponde a la estimación del histograma de frecuencias de las elevaciones en la cuenca.
- **Pendiente media de la cuenca (S):** es el valor medio del declive del terreno y la variación de inclinación de la cuenca, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la cuenca.

8.6. PARÁMETROS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE

Los parámetros asociados a la red de drenaje permiten establecer la distribución espacial y posibles comportamientos del sistema de drenaje interno de la cuenca o área de drenaje. El sistema de drenaje de una cuenca está conformado por un curso de agua principal y sus tributarios, observándose por lo general; que cuanto más largo sea el curso de agua principal, más llena de bifurcaciones será la red de drenaje.

Cabe aclarar que la línea de drenaje es aquella que indica el escurrimiento de aguas, sean estas esporádicas, estacionales o intermitentes coincidiendo con la línea de Talweg. Este último concepto de línea de Talweg también se conoce como Vaguada y se refiere a la línea que une los puntos de menor elevación de un valle con el cauce de una corriente.

A manera de resumen de los parámetros asociados a la red de drenaje se presenta la siguiente tabla:

Tabla 22 Parámetros del relieve de la unidad hidrográfica de estudio

Parametros asociados al drenaje					
Descripcion	Longitud del cauce principal	Orden	Longitud de drenajes	Densidad de drenaje	Pendiente media del drenaje principal
	km	-	km	km/km2	%
Valor	3.028	4	3.51	0.86	19.95

Fuente: Autor

8.7. MÉTODO DE CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO DE DISEÑO

Con la escorrentía potencial se puede hallar el caudal que produce el área de drenaje, existen varios métodos para hallar este caudal:

El método racional: es posiblemente el método más antiguo de la relación lluvia escorrentía. Este modelo toma en cuenta, además del área de la cuenca, la altura o intensidad de precipitación y es hoy en día muy utilizado para drenajes urbanos, pero en nuestro caso no da un ajuste bueno debido a que no considera una serie de parámetros importantes.

Método del Hidrograma unitario: Este es el método más adecuado ya que toma en cuenta no solo el tipo de suelo, área, sino la forma; el volumen escurrido puede ser el mismo para dos cuencas similares pero el caudal máximo, y las demás características del hidrograma varían de una cuenca a otra, el método del hidrograma unitario toma en cuenta estas variaciones considerando además la altura total de precipitación y el área de la cuenca, su forma, pendiente, vegetación, etc., aunque no de forma explícita. A continuación, se describe el método.

8.8. CAUDALES MEDIANTE EL MÉTODO DE HIDROGRAMA UNITARIO

8.8.1. Precipitaciones efectivas

De acuerdo con el manual de drenajes para carreteras del INVIAS se acoge por criterios de simplicidad para el cálculo de precipitaciones efectivas de diseño (escorrentía superficial) en modelos de lluvia – escorrentía el método de las curvas CN (Curve Number) del soil conservation service, SCS del U.S. Departament of Agriculture.

El Soil Conservation Service de los Estados Unidos de América, SCS, desarrolló un método denominado número de curva de escorrentía CN, para calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha.

En este método, la profundidad de escorrentía (es decir, la profundidad efectiva de precipitación) es una función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado número de curva o CN. El número de curva varía en un rango de 1 a 100, existiendo una función de las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la unidad hidrográfica: (1) tipo de suelo hidrológico, (2) utilización y tratamiento del suelo, (3) condiciones de la superficie del terreno, y (4) condición de humedad antecedente del suelo.

El método del número de curva de escorrentía fue desarrollado a partir de datos de precipitación y escorrentía de 24 horas y, como tal, debe ser usado hasta esta última duración. No toma explícitamente en consideración las variaciones temporales de intensidad de lluvia. La distribución temporal de precipitación puede ser introducida en una etapa posterior.

Tabla 23 Cobertura actual según el área de la unidad hidrográfica

Cobertura	Area (Ha)
Agrosilvopastoril	238.75
Cultivos permanentes	8.58
Proteccion	4.71
Forestal de Protección	1.96
TOTAL	254

Fuente: Autor

8.8.2. Valores de número de curva de la unidad hidrográfica

La intersección entre el mapa de cobertura actual y el mapa de grupo hidrológico permite obtener la zonificación de los valores de numero de curva de la cuenca, los cuales oscilan entre un rango mínimo de 70 hasta un rango máximo de 91, cabe mencionar que este parámetro es adimensional.

Tabla 24 Grupo hidrológico según el área de la unidad hidrográfica

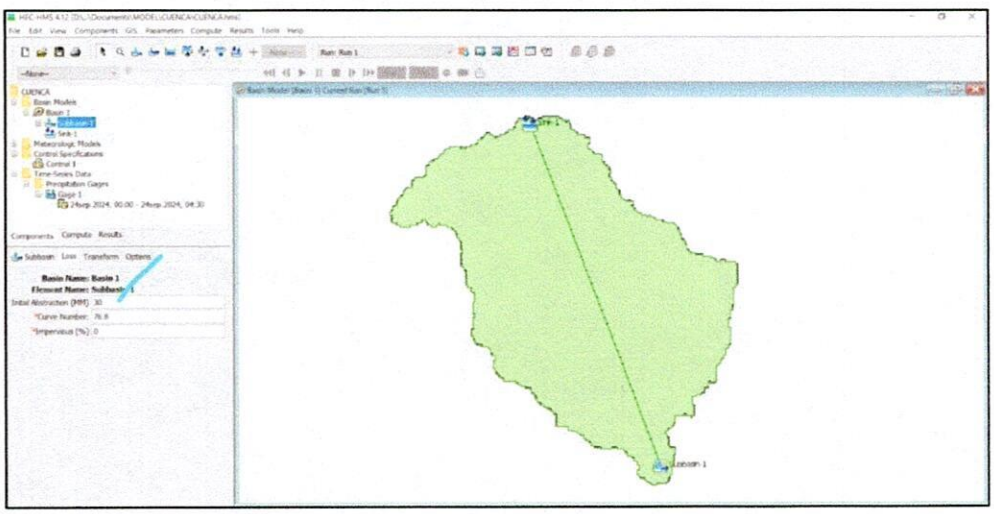
Cobertura	Area (Ha)	CN	Area*CN
Agrosilvopastoril	238.75	77	18383.75
Cultivos permanentes	8.58	77	660.66
Proteccion	4.71	70	329.7
Forestal de Protección	1.96	73	143.08
TOTAL	254	76.8	19517.19

Fuente: Autor

8.9. ESTIMACIÓN DE CAUDALES CON HEC-HMS PARA EL ESCENARIO DE COBERTURA ACTUAL

La estimación de caudales para la unidad hidrográfica se estableció a partir del software de licencia libre HEC-HMS, considerando los hietogramas de diseño anteriormente presentados en este documento para distintos periodos de retorno, así como el valor de número de curva de la cuenca y el área de esta. De igual manera se consideró el método de hidrograma unitario SCS para estimar los caudales. A continuación, se presenta a manera de ejemplo una ilustración de la interfaz del modelamiento hidrológico en HECHMS para un periodo de retorno de 20 años.

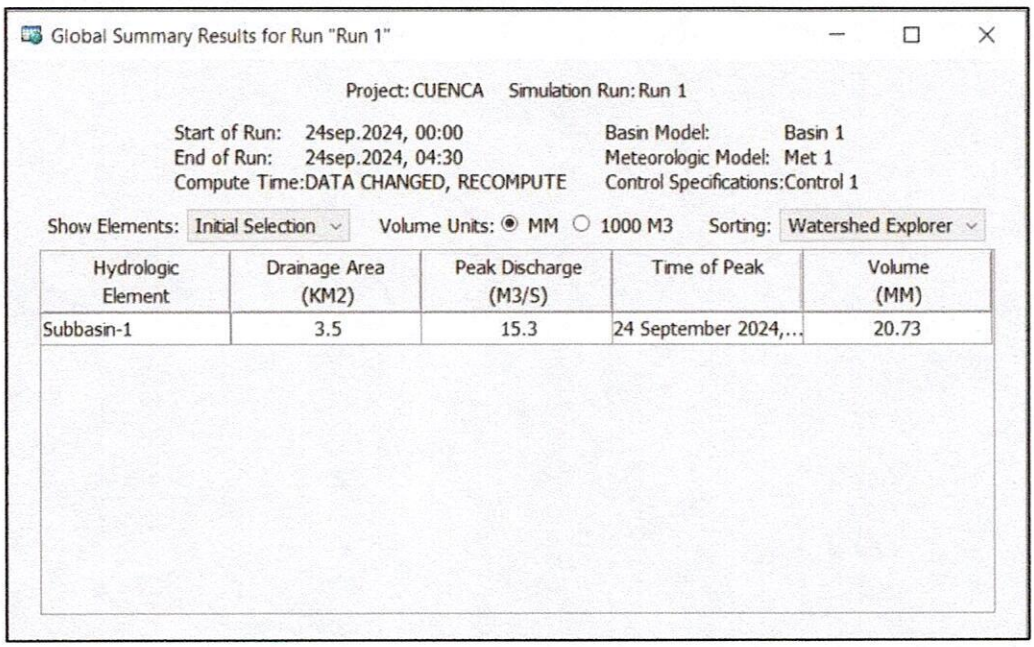
Figura 11 Representación de la microcuenca para un Tr = 20 años



Fuente: Autor

Una vez definidas todas las variables solicitadas por el software (área de la cuenca, método de transformación de escorrentía, número de curva, tiempo de retardo, hietograma, entre otros), se procede a correr el programa para cada periodo de retorno de análisis.

Figura 12 Resultados de Caudal para un Periodo de Retorno de 20 años



Fuente: Autor

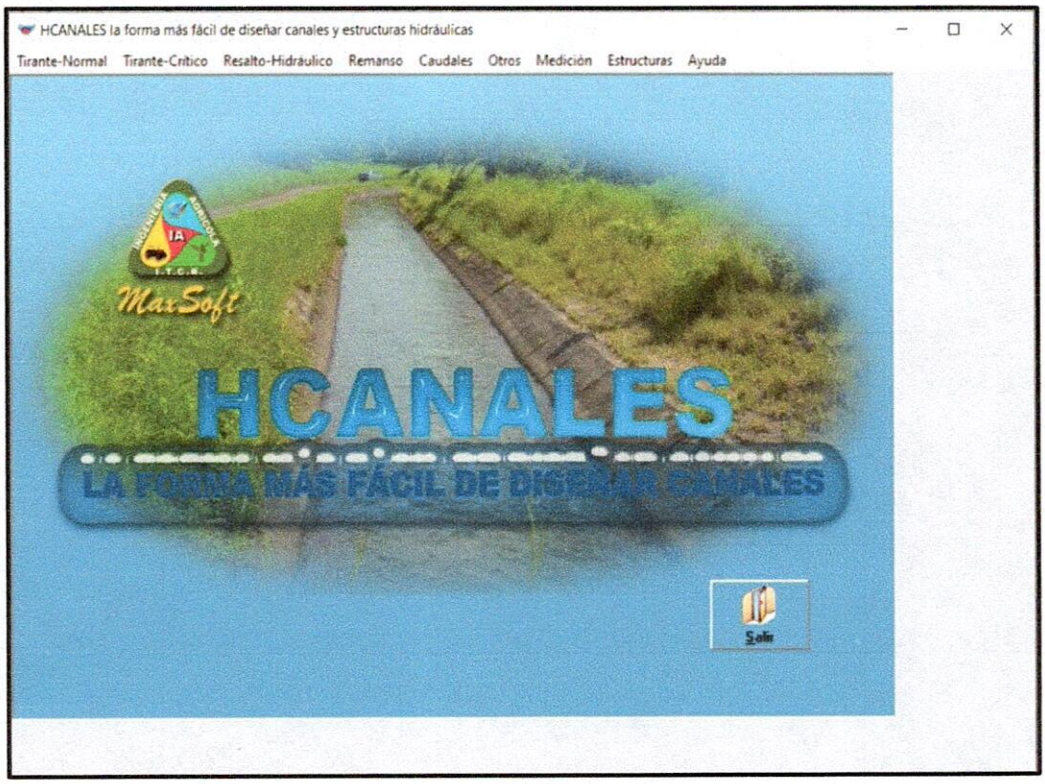
El valor de caudal para el tiempo de retorno de 20 años de es 15,3 m3/s, en la cuenca de estudio.

9. ESTUDIO HIDRAULICO DEL BOX CULVERT

HCanales es un excelente programa el cual nos permite determinar las características hidráulicas de canales, como su nombre lo indica. La versión que estará aquí para descargar corresponde a la V3 (Este programa es gratuito y trataré de tener la última versión actualizada en este post, agradecería avisar si existe una versión más reciente).

Probablemente la mayor ventaja de este gran programa es que te permite simplificar bastante los cálculos laboriosos y comprobar rápidamente cualquier proyecto que llegue a tus manos, para hacer cualquier cálculo tenemos varias opciones como, por ejemplo:

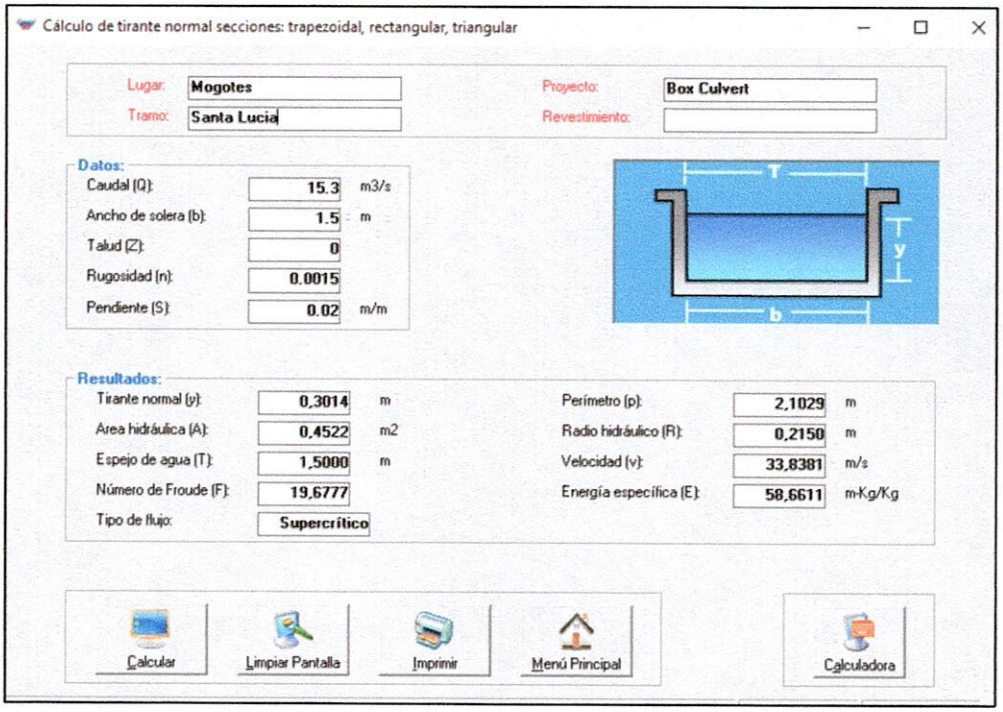
- Calcular el tirante crítico
- Calcular el tirante normal
- Calcular la curva de remanso
- Calcular caudales
- Calcular el resalto hidráulico

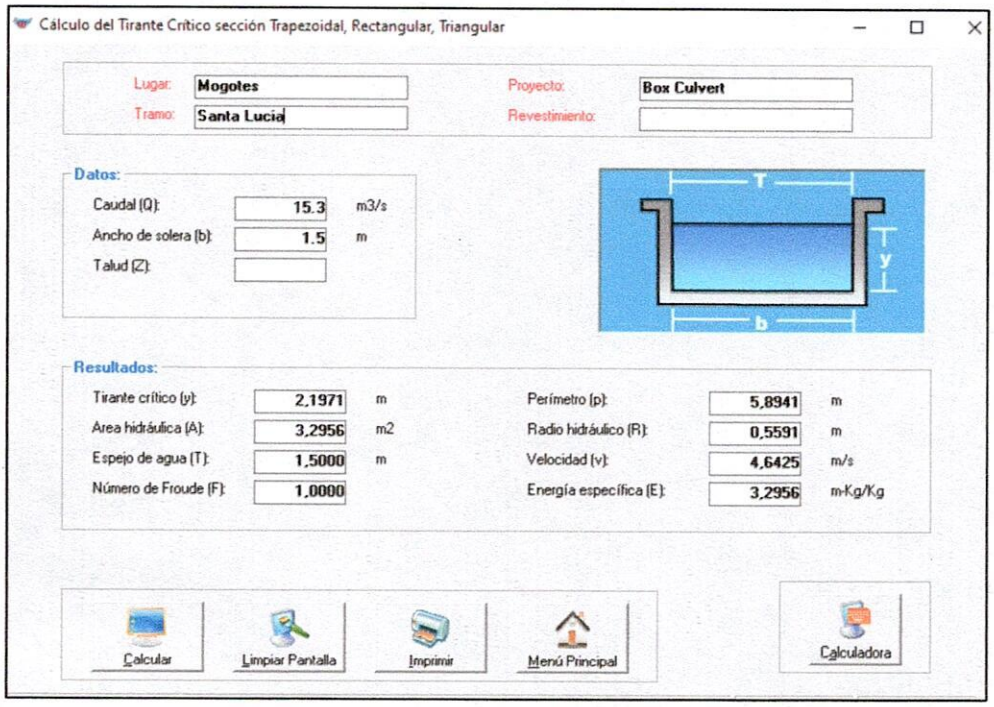


Fuente: Software Hcanales

A continucacion se presenta el modelamiento de las secciones en el programa mencionado anteriormente, con el fin de seleccionar la sección de box culvert que tiene la capacidad para drenar el caudal caulculado.

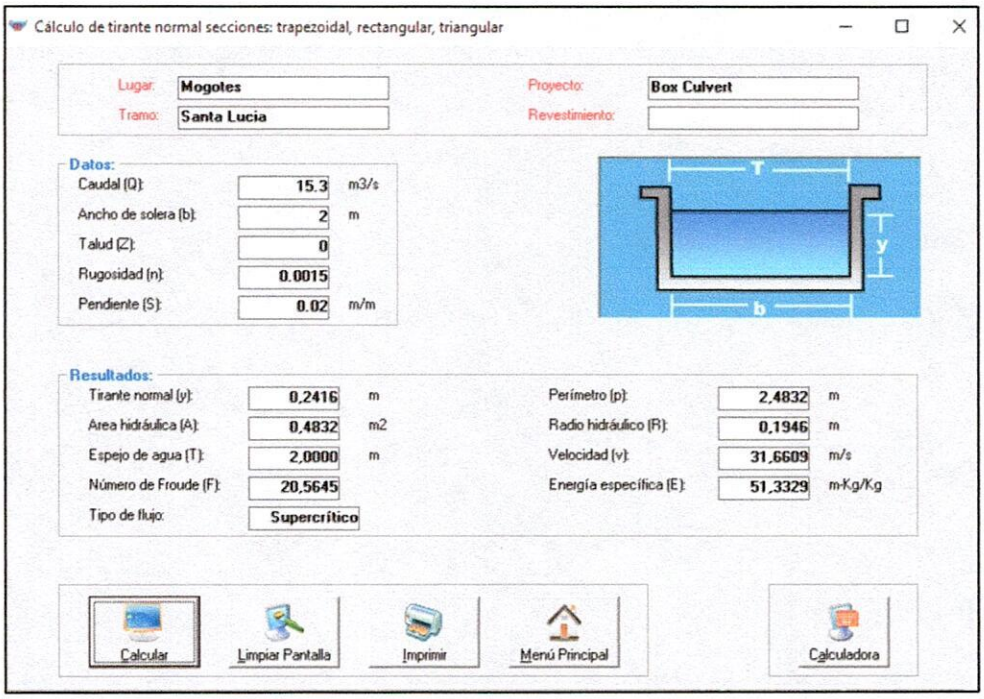
- **Sección 1.50*1.50 m**

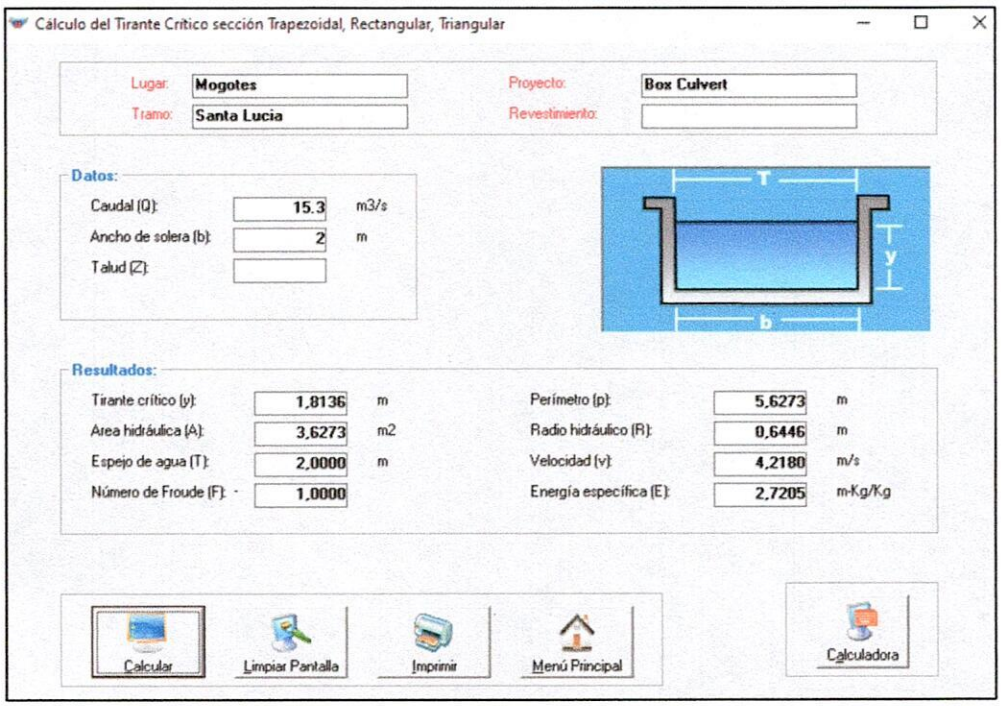




Fuente: Programa Hcanales

- **Sección 2.0*2.0 m**





Fuente: Programa Hcanales

10. ANALISIS DE SOCAVACION

El análisis de socavación tendrá por objeto definir las profundidades máximas ocasionadas por la socavación general producida por el arrastre de las partículas de fondo en el sector de estudio, para realizar el siguiente análisis de toma el caudal en tiempo de retorno de 20 años, el cual es de 15,3 m3/s, considerando el tipo de suelo a través de las granulometrías realizadas cerca de la zona de estudio con base a un diámetro medio de las partículas de 0,33 mm

La socavación general producida por el flujo del agua en el cauce será realizada utilizando la metodología de Lischtan – Levediev, aprobada por el INVIAS en sus estudios y diseños de vías en Colombia. Se utilizaron las fórmulas para suelos cohesivos con base al estudio de suelos realizado en la zona de estudio.

DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION

TIPO DE CAUCE 1 (ver cuadro adjunto)

CAUCE	TIPO
SUELO COHESIVO	1
SUELO NO COHESIVO	2

A.- Cálculo de la socavación general en el cauce:

Hs = profundidad de socavación (m)		
Qd = caudal de diseño	15.30	m3/seg
Be = ancho efectivo de la superficie de agua	2.50	m
Ho = tirante antes de la erosión	0.60	m
Vm = velocidad media en la sección	1.00	m/seg
m = coeficiente de contraccion. Ver tabla N° 1	0.96	
g_d = peso especifico del suelo del cauce	2.55	Tn/m3
dm = diámetro medio	0.330	mm
x = exponente variable. Ver tabla Nº 2	0.430	
Tr = Periodo de retorno del gasto de diseño	20.00	años
b = coeficiente que depende de la frecuencia del caudal de diseño. Ver tabla Nº 3	0.94	
A = área de la sección hidráulica	16.00	m2
Hm = profundidad media de la sección	6.400	m
a =	0.289	

Entonces,

Hs = 0.16 m

ds = profundidad de socavación respecto al fondo del cauce

ds = 0.44 m

Asumimos **ds = 0.45 m**

Fuente: Autor

11. CONCLUSIONES BOX CULVERT

- Se resalta que el área de estudio y unidad hidrográfica de interés se encuentra contenida en un polígono correspondientes al área de influencia de la estación pluviométrica del IDEAM VALLE DE SAN JOSE [24020080] del municipio de Valle de San José -Santander.
- Se presenta un comportamiento bimodal; es decir presenta un pico o temporada invernal que se da entre el mes de marzo y junio y otro entre septiembre hasta noviembre presentando un máximo de precipitación promedio en el mes de octubre de 50.84 mm.
- El desarrollo de las curvas IDF y los hietogramas representativos del área de interés, se diseñaron para unduración de 3 horas, esto como recomendación de la duración de tormentas por parte del Manual de drenajpara carreteras del INVIAS.
- La delimitación de la cuenca que atraviesa el área de estudio se determinó en base a una imagen satelital de licencia libre de tipo ALOS PALSAR. Esto considerando que su tamaño es de aproximadamente 3.51 km^2
- Según los parámetros morfométricos de la unidad hidrográfica de estudio esta sigue una tendencia a ser una cuenca alargada, lo cual implica una tendencia a entregar de forma rápida la escorrentía y de manera bien drenada. Su detalle se explica mejor en capítulos anteriores de este documento.
- Según el tipo de suelo del área de estudio del box culvert y la tabla de los grupos hidrológicos del suelo, se presente en la zona una infiltración lenta con una capacidad de infiltración de 36 – 13 mm/h, adoptando para el modelo una infiltracion de 30 mm/h.

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de Infiltración > 76 mm/h	Arenosa Arenosa-limosa
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración<13 mm/h	Arcillosa

Fuente: Grupos hidrologicos del suelo (SCS, 1964 en Bradbury et al.,2000)

- La estimación de caudales máximos se estableció el escenario hidrológico principal mediante el método de hidrograma de escorrentía superficial, con el

software computacional de licencia libre HEC-HMS. Obteniendo para el pedirodo de retorno 20 años un caudal de 15.3 m3/s.

- La sección 1.5 m * 1.5 m presenta un tirante normal de 0.301 m pero su condición critica presenta una altura de agua de 2.197 m, es decir que la sección en un periodo de retorno es insuficiente para transportar el caudal de escorrentia.
- La sección existente de 2.0 m* 2.0 m presenta un tirante normal de 0.241 m, pero en sus condiciones critica presenta una altura de agua de 1.813 m es decir que la sección en un periodo de retorno presenta un borde libre aproximadamente de 19 cm , por la cual se recomienda adaptarla al diseño, presenta una velocidad de 4.21 m/s la cual es favorable ya que no presenta fenómenos de abrasión del concreto.
- Del resultado del estudio de socavación para el periodo de retorno de 20 años, la altura de socavación en la sección del box culvert propuesto es de 0.45 metros.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural.
- Manual de drenaje para carreteras INVIAS – 2009.
- Cartilla guía para la evaluación de cantidades y ejecución de presupuestos para la construcción de obras de la red terciaria y férrea INVIAS – Diciembre de 2017.
- Aparicio Mijires, F. Fundamentos de Hidrología de Superficie, Editorial Limusa 2004.
- SILVA MEDINA, G. Hidrología Básica. Universidad Nacional de Colombia.1998
- Viessmann JR., W .and LEW IS GL. Introduction to Hydrology, Fourth Edition. HarperCollins
- Chow, Ven T. Hidráulica de Canales Abiertos, Mac. Graw Hill Co. N. Y.1994
- IGAC. Atlas Regional Andino. 1982
- IDEAM, Atlas Climatológico de Colombia
- Mera, L.N. (2018). Estudio hidrológico para el mejoramiento de las vías terciarias del Municipio de Tuquerres.
- EOT municipio de Mogotes.

JOHN FERNANDO SARMIENTO DURAN
ING. CIVIL - ESPECIALISTA EN GEOTECNIA AMBIENTAL
T.P. 68202-120337 STD

ANEXO 1

HOJA DATOS ESTACION IDEAM

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION (mms) EN 24 HORAS

FECHA DE PROCESO : 1/10/2024 **ESTACION : VALLE DE SAN JOSE [24020080]**

LATITUD 6,441 N TIPO DE ESTACION: PM DEPTO: SANTANDER
LONGITUD -73.142 W ENTIDAD: 01 IDEAM MUNICIPIO: VALLE DE SAN JOSE
ELEVACION 1300 m.s.n.m. REGIONAL: 08 SANTANDER

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VALOR MAXIMO
1995	10	20	20	40	55	40	50	30	40	35	20	20	55
1996	20	20	30	20	40	26	40	44	30	38	30	30	44
1997	23	28	30	30	32	27	30	40	90	41	34	20	90
1998	1	25	31	16	25	22	40	80	50	50	20	22	80
1999	12	18	80	25	35	40	40	25	40	33	25	18	80
2000	4	35	20	23	25	60	35	35	25	34	40	10	60
2001	25	25	20	35	32	30	15	40	32	15	45	44	45
2002	24	10	25	40	60	60	16	30	31	60	20	12	60
2003	15	8	47	40	45	25	18	25	50	60	34	6	60
2004	6	18	28	40	36	30	30	30	27	40	30	10	40
2005	30	40	3	38	25	25	26	30	30	32	40	16	40
2006	11	2	30	22	42	32	30	90	32	40	30,4	4,2	90
2007	10	12,3	30,2	40,7	37,3	25,2	27,2	30,3	22,3	30,6	26,1	20,4	40,7
2008	22,4	18,3	8,2	30,6	40,6	52,2	52,3	22,2	27,5	34,2	20,7	6,3	52,3
2009	10	20	38,5	20	24,5	27,5	70,9	76,5	18,7	40	50,2	68,8	76,5
2010	0	64	33,8	108	36,5	49,5	50,2	20,1	87,4	56,7	35,4	8,5	108
2011	14,3	23,4	102,6	64,7	47,8	72,3	38,6	50	47,3	39,3	35,2	11,7	102,6
2012	5	19	61,5	52,1	38,4	25,2	32,1	40,2	22,4	34,6	38,6	8,3	61,5
2013	5,1	14,4	22	52,6	58,4	43,2	38,4	64,8	15,8	47,8	36,2	28,3	64,8
2014	13,5	16,5	12,8	51	53,5	24,1	24,5	55,3	44,6	35,4	45,6	42,2	55,3
2015	12,6	22,5	35,4	45,2	36,4	14,3	26	30,4	35,6	32,4	31	22	45,2
2016	7,6	5,9	42,5	68,3	47,5	28,2	39,8	42,1	62,3	57	45,4	32,4	68,3
2017	19	24,5	55,5	54,2	54,3	61,5	46,8	28,6	42,3	50,6	37,6	0	61,5
2018	43	10,2	48,6	45,7	68,4	42,3	47,8	45,8	35,2	50	20,2	0	68,4
2019	16,7	22	19,5	38,5	76	45,4	45,3	38,4	49,3	38,7	28,2	12,6	76
2020	15,8	3,1	74,5	51,2	56,9	38,4	35,6	42	48,6	45,6	55	9	74,5
2021	21,8	28,3	44,3	35,8	25,3	34,5	45,6	28,2	71,6	37,1	27	0	71,6
2022	0	37,5	40	45,6	48,7	67,8	45,4	35,5	46,5	35,6	40,7	0	67,8
2023	25	59,2	48	41,7	42,7	32,4	37,8	33,5	35,6	61	35,9	5,2	61
MEDIOS	14,58	22,42	37,31	41,89	42,94	37,97	37,04	40,79	41,03	41,54	33,70	16,82	**34,00**
MAXIMOS	43	64	102,6	108	76	72,3	70,9	90	90	61	55	68,8	**108**
MINIMOS	0	2	3	16	24,5	14,3	15	20,1	15,8	15	20	0	**0**