MANTENIMIENTO Y ADECUACIÓN VÍA CARBONERA – VÍA TEJAR ARRIBA DEL MUNICIPIO DE NUEVO COLÓN, DEPARTAMENTO BOYACÁ

HIDROLOGÍA Y DRENAJE VIAL



Diseño Construcción e Ingeniería

INFORME ELABORADO PARA:

ALCALDÍA DE NUEVO COLÓN

ENERO, 2026

LISTA DE CONTROL DE CAMBIOS

PROYECTO:	MANTENIMIENTO Y ADECUACIÓN VÍA CARBONERA – VÍA TEJAR ARRIBA MUNICIPIO DE NUEVO COLÓN, DEPARTAMENTO BOYACÁ
LOCALIZACIÓN:	SECTOR TEJAR ARRIBA
No INTERNO:	INF-HIDRO-089-25
ÁREA:	HIDROLOGÍA Y DRENAJE VIAL

REVISIONES

ESTADO	NOMBRE	FECHA	FIRMA
ELABORÓ			
APROBÓ			

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

CONTENIDO

pág.

1. INTRODUCCIÓN 9
2. ASPECTOS GENERALES 10
2.1 GENERALIDADES 10
2.2 OBJETIVOS 10
2.3 ALCANCE Y LIMITACIONES 10
2.3.1 Alcance 10
2.3.2 Limitaciones 11
2.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA 11
2.4.1 Localización del área de estudio 12
3. ESTUDIO HIDROLÓGICO 14
3.1 RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN 14
3.1.1 Información climatológica 15
3.2 METODOLOGÍA 15
3.3 CLIMATOLOGÍA 16
3.3.1 Temperatura 16
3.3.2 Nubosidad 17
3.3.3 Humedad Relativa 19
3.3.4 Evaporación 19
3.3.5 Brillo solar 20
3.4 RÉGIMEN DE LLUVIAS 21
3.4.1 Análisis estadístico valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas 22
3.4.2 Análisis número de días lluviosos multianual mensual 26
3.4.3 Análisis estadístico valores totales mensuales de precipitación 29
3.5 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA – IDF 31
3.5.1 Cálculo de curvas IDF 31

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

3.5.2 Cálculo de curvas IDF por método simplificado 31
3.6 CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA 36
4. OBRAS DE DRENAJE VIAL 37
4.1 OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL EXISTENTE 37
4.1.1 ÁREAS DE DRENAJE 38
4.1.2 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL CAUDAL 39
4.1.3 PARÁMETROS GENERALES DE CÁLCULO 43
4.1.4 EVALUACION HIDRAULICA DRENAJE EXISTENTE 48
5. DISEÑO HIDRÁULICO CUNETAS 51
5.1 CUNETA Y SECCIÓN VIAL 51
5.1.1 Estimación caudal de diseño 51
5.1.2 Presentación del software de cálculo hidráulico de apoyo 52
5.1.3 Cuneta vial 54
6. CANTIDADES 61
6.1 RESUMEN DE CANTIDADES 61
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 62
BIBLIOGRAFÍA 64

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

Lista de Tablas

pág.

Tabla 1. Resumen de estaciones del IDEAM. 15
Tabla 2. Representación de la nubosidad. 18
Tabla 3. Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas 22
Tabla 4. Análisis estadístico valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas . 23
Tabla 5. Cálculo del histograma de frecuencia - valores máximos mensuales en 24 horas. 24
Tabla 6. Valores máximos de precipitación mensual (24h) multianual y desviaciones estándar. 25
Tabla 7. Histórico de número de días mensuales de precipitación. 26
Tabla 8. Número de días mensuales de precipitación multianual y desviaciones estándar. 28
Tabla 9. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia 32
Tabla 10. Precipitación máxima anual en 24 horas. 33
Tabla 11. Datos de construcción Curva IDF – Método simplificado. 35
Tabla 12. Obras de drenaje transversal existentes. 37
Tabla 13. Áreas de Drenaje. 38
Tabla 14. Períodos de retorno según tipo de obra. 44
Tabla 15/ Valores de coeficientes de escorrentía en áreas rurales. 45
Tabla 16/ Valores de coeficientes de escorrentía en áreas urbanas. 45
Tabla 17/ Valor de coeficiente de escorrentía ponderado. 46
Tabla 18. Intensidad de precipitación por drenaje. 47
Tabla 19. Caudal máximo de diseño 48
Tabla 20. Resultados Culvert Relación Hw/D. 49
Tabla 21. Evaluación hidráulica obras existentes. 50
Tabla 22. Estimación de caudales máximos cunetas. 52
Tabla 23. Coeficientes de escorrentía, según tipos de vía. 54
Tabla 24. Parámetros de diseño cuneta vial. 55
Tabla 25. Ancho de Inundación admisible según clasificación de la vía. 57
Tabla 26. Cálculos hidráulicos cuneta vial - Hipótesis 1. 57
Tabla 27. Cálculos hidráulicos cuneta vial - Hipótesis 2. 58
Tabla 29*. Resumen de cantidades por tramo.* 61

INGEOTECK Diseño Construcción e Ingeniería

Lista de Ilustraciones

pág.

Ilustración 1. Zona de localización del proyecto Municipio de Nuevo Colón. 12
Ilustración 2. Fotos de la zona de estudio. 13
Ilustración 3. Ubicación de Estación Agrometeorológica Nuevo Colón. 14
Ilustración 4.Mapa temperatura media anual (°C) Departamento de Boyacá. 17
Ilustración 5. Mapa de días con lluvia total anual- Departamento de Boyacá. 29
Ilustración 6. Mapa de precipitación total anual- Departamento de Boyacá. 30
Ilustración 7. Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d. 32
Ilustración 8. Registro fotográfico estructura existente 37
Ilustración 9. Áreas de Drenaje. 39
Ilustración 10. Cobertura del suelo. 42
Ilustración 11. Textura del suelo. 43
Ilustración 12. Perfil hidráulico Culvert. 48
Ilustración 13. Sección hidraulica Culvert. 49
Ilustración 14. Sección típica. 51
Ilustración 15. Reporte Gráfico y Tabular Bentley - FlowMaster. 53
Ilustración 16. Informes Gráficos y Tabulares Personalizados – FlowMaster. 53
Ilustración 17. Hidráulica Cuneta. 56
Ilustración 18. Cuneta tipo. 57
Ilustración 19*. Esquema Subdren.* 63

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

Lista de Gráficas

pág.

Gráfica 1. Valores máximos mensuales de temperatura (°C). 16
Gráfica 2. Valores medios mensuales de nubosidad. 18
Gráfica 3. Valores medios mensuales de humedad relativa (%). 19
Gráfica 4. Valores medios mensuales de evaporación. 20
Gráfica 5.Valores medios mensuales de brillo solar. 21
Gráfica 6. Histograma de frecuencia valores Pmáx 24h. 25
Gráfica 7. Histograma de valores máxima precipitación mensual (24h) multianual. 26
Gráfica 8. Número de días lluviosos multianual mensual. 28
Gráfica 9. Valores totales mensuales de precipitación. 30
Gráfica 10. Curva IDF – Método simplificado. 35
Gráfica 11. Variación del ancho libre de la cuneta vs la pendiente longitudinal. 59
Gráfica 12. Variación de la velocidad vs la pendiente longitudinal. 59
Gráfica 13*. Variación de la capacidad de descarga vs la pendiente longitudinal.* 60

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

Lista de Ecuaciones

pág.

Ecuación 1. Método racional..... 40
Ecuación 2. Tiempo de concentración, ecuación Kirpich..... 46
Ecuación 3. Caudal de la cuneta - Izzard..... 54

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el informe del componente de Hidrología y Drenaje Vial para el proyecto "MANTENIMIENTO Y ADECUACIÓN VÍA CARBONERA – VÍA TEJAR ARRIBA DEL MUNICIPIO DE NUEVO COLÓN, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ", correspondiente al sector Tejar Arriba, el tramo en estudio tiene una longitud de 115.64m. En cumplimiento de los requerimientos de la entidad contratante y de la normativa técnica aplicable, en este documento se presentan los criterios, análisis y definiciones adoptadas para el manejo de las aguas superficiales, el control de la escorrentía y la evaluación hidráulica de las obras de drenaje existentes y el diseño de las obras de drenaje necesarias para garantizar la funcionalidad de la vía y la protección de la infraestructura.

El alcance de este informe comprende la revisión y análisis de la información topográfica disponible, así como la caracterización hidrológica e hidráulica del corredor, con el fin de identificar zonas de concentración de escorrentía, puntos críticos y condiciones de descarga, con el fin de dimensionar y localizar las obras de drenaje longitudinal y transversal requeridas, de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS (2009) y demás disposiciones vigentes aplicables a proyectos de infraestructura vial en el territorio nacional.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 GENERALIDADES

En concordancia con los lineamientos y metodologías que orientan el diseño hidrológico y drenaje vial, el proyecto "MANTENIMIENTO Y ADECUACIÓN VÍA CARBONERA – VÍA TEJAR ARRIBA DEL MUNICIPIO DE NUEVO COLÓN, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ" busca consolidar un corredor que cumpla con los criterios definidos en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS (2009), garantizando el correcto funcionamiento hidráulico del corredor mediante el control de escorrentías.

2.2 OBJETIVOS

- Analizar la información hidroclimatológica disponible en el área de estudio, mediante la recopilación, depuración y análisis de registros de precipitación, con el fin de caracterizar el régimen de lluvias, construir las curvas IDF y establecer los caudales de diseño requeridos para el análisis y dimensionamiento de las obras de drenaje.
- Analizar las condiciones hidrológicas e hidráulicas actuales del tramo vial objeto de estudio, con el fin de identificar el estado y funcionamiento de las obras de drenaje existentes y verificar su conformidad con los parámetros y lineamientos establecidos en la normativa aplicable.
- Diseñar, dimensionar y verificar hidrológica e hidráulicamente las obras de drenaje superficial y/o subdrenaje requeridas, definiendo su capacidad de conducción y criterios de diseño de acuerdo con las condiciones de escorrentía, las exigencias del corredor vial y los objetivos de estabilidad, funcionalidad y durabilidad del proyecto.

2.3 ALCANCE Y LIMITACIONES

2.3.1 Alcance

El alcance del componente hidráulico del proyecto consiste en desarrollar los análisis necesarios para establecer el comportamiento de la escorrentía en el corredor vial y definir las soluciones de drenaje que aseguren su funcionamiento. Para ello, se contempla la revisión hidráulica de las obras de drenaje existentes y el planteamiento

y dimensionamiento de las estructuras requeridas donde se identifiquen insuficiencias o nuevas demandas. El estudio incluye el diseño de elementos de drenaje superficial y de cruce, conforme a los criterios técnicos aplicables y a las condiciones propias del trazado.

2.3.2 Limitaciones

El estudio no incluye el diseño ni la intervención de estructuras especiales como puentes, ni la formulación de soluciones específicas para el manejo de inestabilidades geológicas o geotécnicas. Este tipo de situaciones requiere análisis detallados y estudios particulares, los cuales no hacen parte del objeto ni del alcance definido para este proyecto.

2.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El municipio de Nuevo Colón se localiza en la región central del departamento de Boyacá, en la provincia de Márquez, a una distancia aproximada de 40 km de la ciudad de Tunja, capital departamental. Su territorio se encuentra inmerso en el altiplano cundiboyacense, caracterizándose por una topografía predominantemente ondulada con sectores de relieve montañoso suave. Nuevo Colón limita al norte con el municipio de Tibaná, al sur con Jenesano, al oriente con Ramiriquí y al occidente con el municipio de Boyacá. Sus veredas son: Alfaras, Zapatero, El Uvo, Llano Grande, Jabonera, Pavaquira, Tejar Arriba, Tejar Abajo, Carbonera, Fiota, Centro, Potreros, Tapias, Aposentos, Imbita y Sorca.

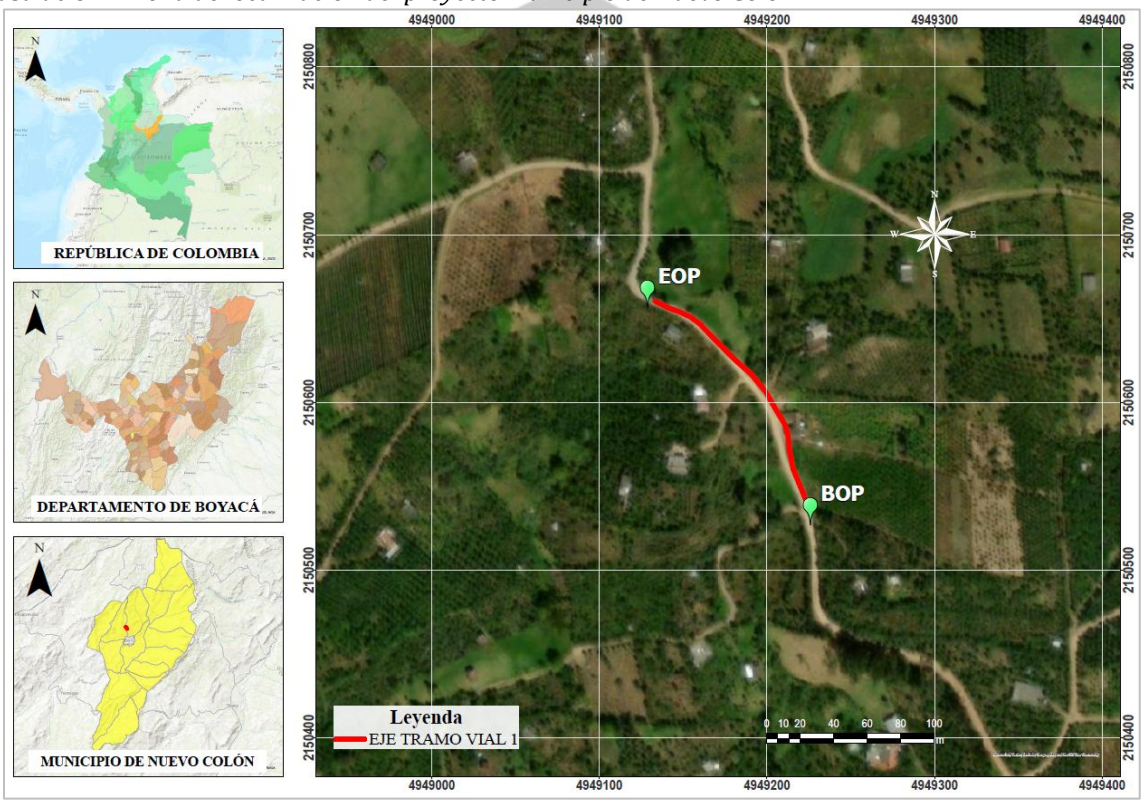
INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

El municipio cuenta con una ubicación estratégica dentro del corredor vial que articula a Tunja con los municipios de la provincia de Márquez, lo cual fortalece la conectividad territorial y facilita la movilidad de personas, bienes y servicios hacia centros de comercio, educación y salud. Esta condición favorece el intercambio económico regional, especialmente en lo relacionado con el abastecimiento de insumos y la salida de productos agropecuarios hacia mercados cercanos. Adicionalmente, su altitud promedio y las condiciones climáticas templadas propias de la zona permiten el desarrollo continuo de actividades del sector rural, con predominio de labores agrícolas que representan uno de los principales soportes de la economía local y del empleo en el municipio. En este contexto, el mejoramiento de la infraestructura vial contribuye a reducir tiempos y costos de transporte, mejorar la accesibilidad a veredas y optimizar las condiciones de comercialización de la producción.

2.4.1 Localización del área de estudio

El área de intervención se localiza en la zona rural del municipio de Nuevo Colón, departamento de Boyacá, sobre el corredor de la vía terciaria que comunica el casco urbano municipal con la vereda Tejar Arriba. En este eje vial se proyecta el mejoramiento de la vía mediante pavimentación con placa huella y la ejecución de sus obras de drenaje vial, necesarias para reducir afectaciones por escorrentía y proteger la estructura de la calzada. A continuación, se presenta la ubicación del tramo considerado en el proyecto.

Ilustración 1. Zona de localización del proyecto Municipio de Nuevo Colón.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se incluyen registros fotográficos del área de intervención, los cuales permiten observar de manera general las condiciones existentes y las características de la vía.

Ilustración 2. Fotos de la zona de estudio.

TRAMO N°01



Fuente: Consultoría.

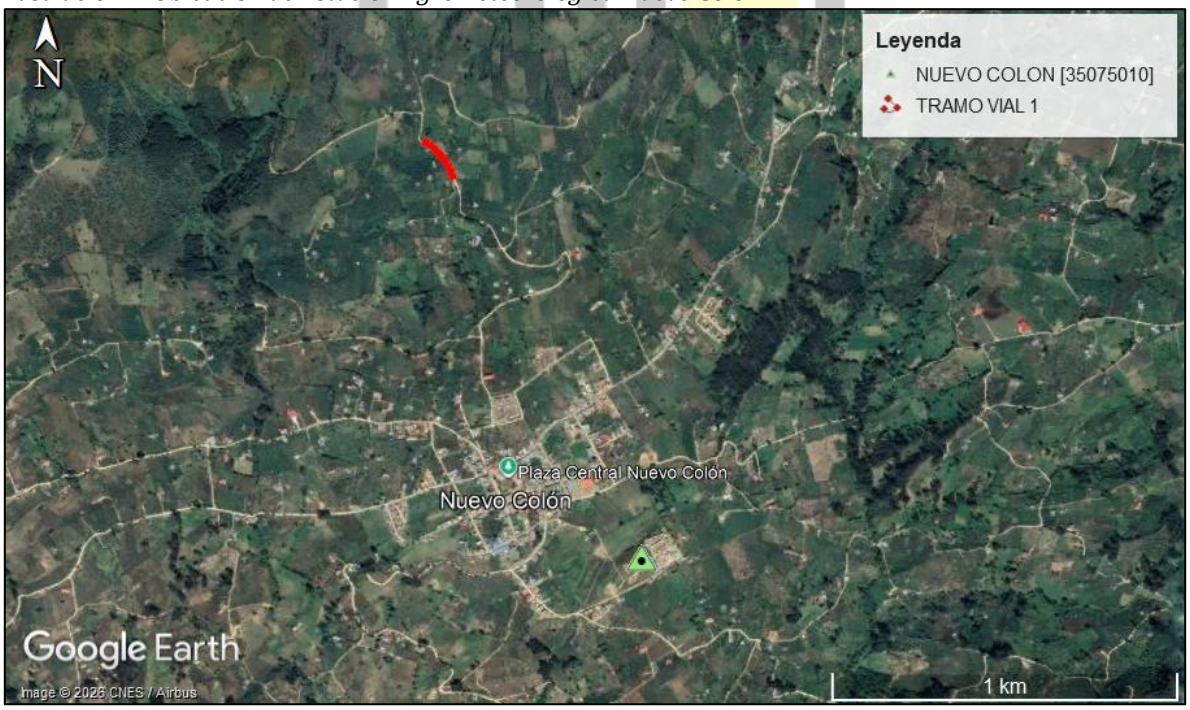
3. ESTUDIO HIDROLÓGICO

3.1 RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información utilizada se obtuvo a partir de datos de campo, complementados con la revisión de fuentes oficiales del IDEAM, en particular los registros disponibles en la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas, desde donde se consultaron y descargaron datos hidrometeorológicos, principalmente de precipitación, correspondientes a la estación seleccionada.

Con base en el análisis de la ubicación de la estación, su altitud y su representatividad espacial frente al área del proyecto, se determinó que en la zona de intervención existe una estación agrometeorológica cuyos registros resultan adecuados y consistentes para el desarrollo del estudio.

Ilustración 3. Ubicación de Estación Agrometeorológica Nuevo Colón.



Fuente: OSPAM INGENIERÍA S.A.S

3.1.1 Información climatológica

En el IDEAM se realizó la consulta y descarga de la información requerida, utilizando como fuente única la estación agrometeorológica NUEVO COLÓN [35075010]. Esta estación cuenta con registros de precipitación (incluyendo los valores de lluvia máxima en 24 horas) y, adicionalmente, con los datos de climatología necesarios para el estudio; por ello, se adoptó la misma estación para el análisis de todos los parámetros considerados en el proyecto. En la siguiente tabla se presentan las características de la estación empleada.

Tabla 1. Resumen de estaciones del IDEAM.

Código	Nombre	Corriente	Elevación	Municipio	Tipo
35075010	NUEVO COLÓN	RÍO GARAGOA	Altitud: 2438 m.s.n.m Latitud: 5.352694 Longitud: -73.453778	Nuevo Colón	Agrometeorológica

Fuente: Elaboración propia.

3.2 METODOLOGÍA

Los estudios hidrológicos se desarrollaron siguiendo la metodología descrita a continuación:

- Recolección de insumos cartográficos y geoespaciales a partir de Google Earth y revisión de la topografía de detalle en sitio para complementar y validar la información base.
- Delimitación de áreas aportantes asociadas a los puntos de drenaje del proyecto, con base a un Modelo Digital de Elevación (DEM) del satélite ALOS PALSAR (resolución 12,5 m) y utilizando el software ArcGIS Pro
- Clasificación de la cobertura vegetal y determinación del uso del suelo (condición rural, agrícola, pastos, etc.) en el área de influencia.
- Consulta de los registros del IDEAM para seleccionar la estación más representativa según disponibilidad, continuidad y cercanía al área del proyecto; posteriormente se realizó la organización de las series de precipitación verificando su consistencia y el período histórico, y análisis de las lluvias máximas en 24 horas como variable base para caracterizar el evento crítico.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

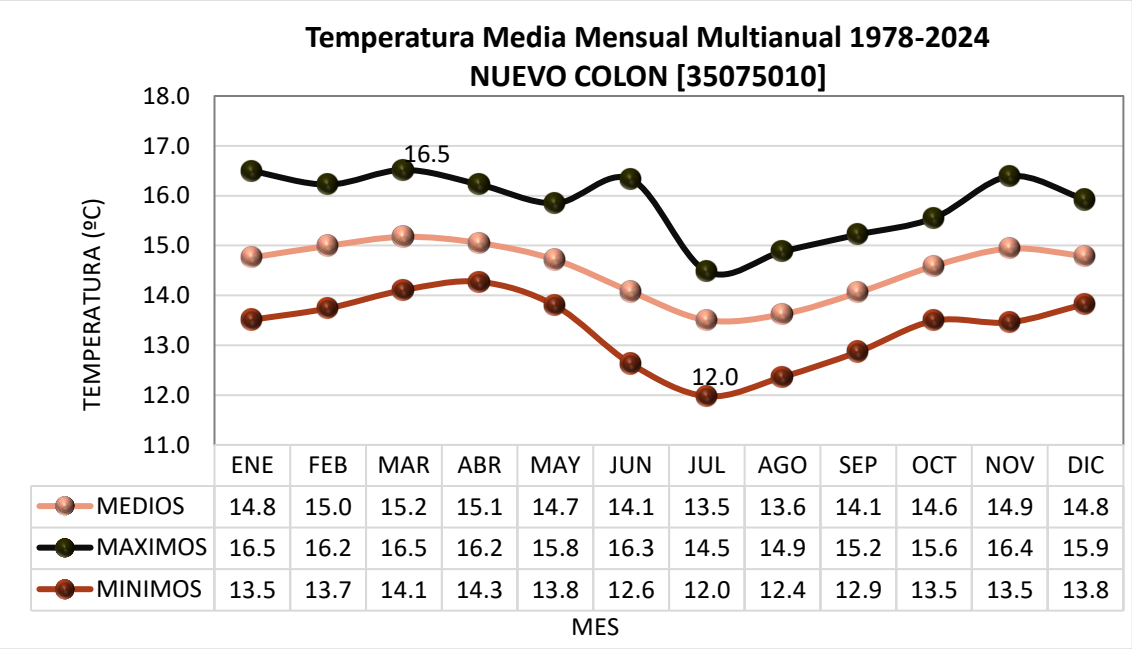
- Estimación del caudal máximo de diseño para el período de retorno recomendado, aplicando los criterios del Manual de Drenaje de Carreteras (INVIAS, 2009) y verificando el cumplimiento del marco normativo complementario establecido en las Resoluciones 0330 de 2017 y 799 de 2021.

3.3 CLIMATOLOGÍA

3.3.1 Temperatura

La temperatura atmosférica es el parámetro que permite caracterizar el grado de calentamiento del aire y las condiciones térmicas predominantes en la zona de estudio. De acuerdo con los registros históricos de la estación analizada, la temperatura máxima media multianual alcanza un valor aproximado de 14.5 °C, evidenciando un comportamiento térmico propio de un clima templado. Los valores registrados presentan una variación moderada, con un máximo de 16.5 °C y un mínimo de 12.0 °C, lo cual refleja condiciones relativamente estables a lo largo del período de análisis.

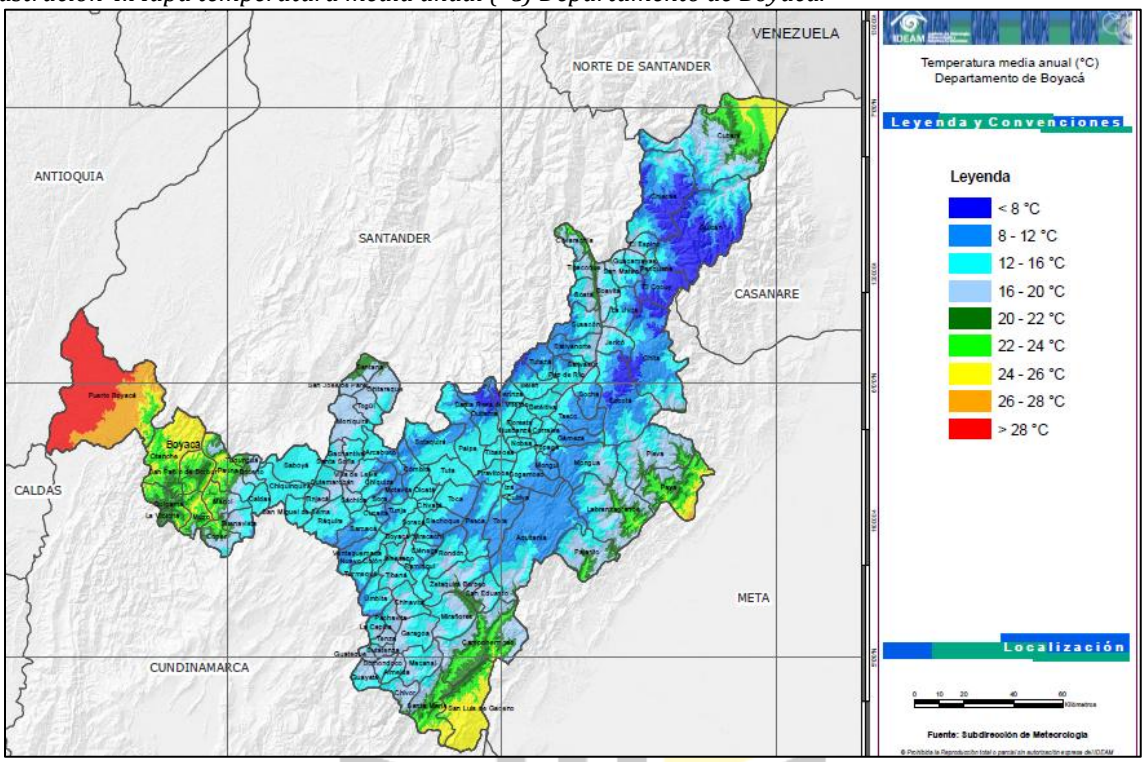
Gráfica 1. Valores máximos mensuales de temperatura (°C).



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIOS	14.8	15.0	15.2	15.1	14.7	14.1	13.5	13.6	14.1	14.6	14.9	14.8
MAXIMOS	16.5	16.2	16.5	16.2	15.8	16.3	14.5	14.9	15.2	15.6	16.4	15.9
MINIMOS	13.5	13.7	14.1	14.3	13.8	12.6	12.0	12.4	12.9	13.5	13.5	13.8

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 4.Mapa temperatura media anual (°C) Departamento de Boyacá.

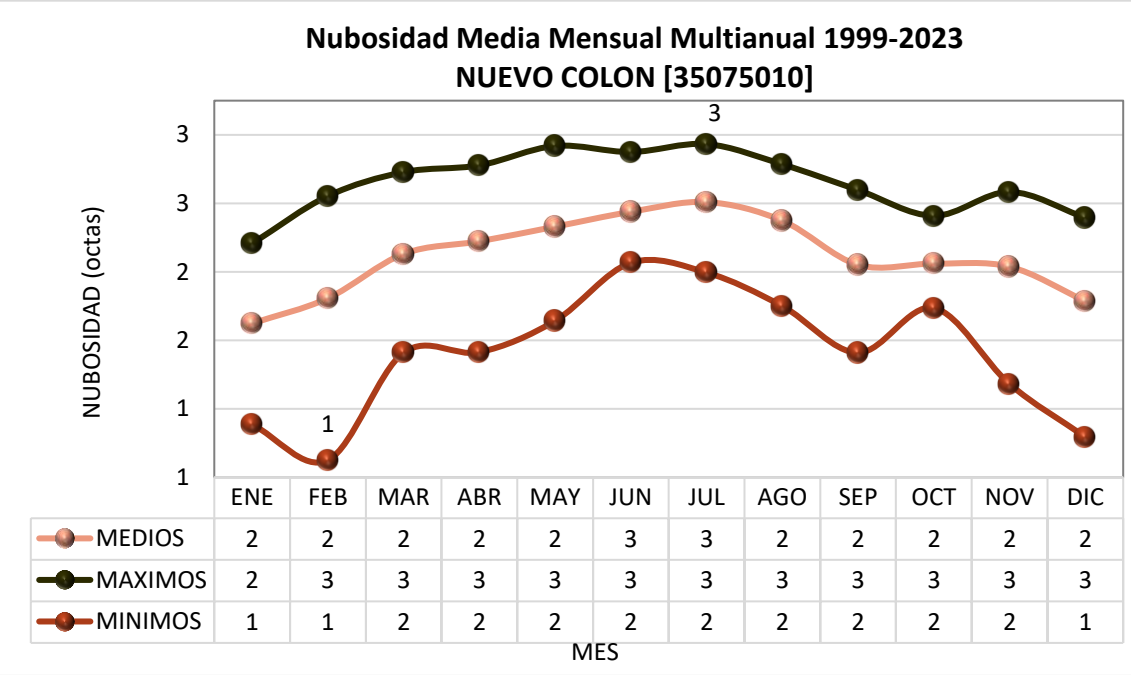


Fuente: Adaptado Atlas IDEAM Boyacá.

3.3.2 Nubosidad

La nubosidad corresponde a la proporción del cielo que se encuentra cubierta por nubes y, de manera convencional, se expresa en octavos de cielo cubierto (octas). Este parámetro permite describir el grado de cobertura nubosa y, de forma indirecta, aporta a la comprensión de condiciones asociadas como la radiación solar disponible y la ocurrencia de lluvias. De acuerdo con los registros de la estación analizada, se presenta una nubosidad media multianual de 2 octas, con variaciones entre un valor máximo de 3 octas y un mínimo de 1 octa, lo que indica en general una cobertura nubosa baja a moderada durante el período evaluado.

Gráfica 2. Valores medios mensuales de nubosidad.



Fuente: Elaboración propia.

La clave utilizada para cifrar la nubosidad es la siguiente:

Tabla 2. Representación de la nubosidad.

CIFRA DE LA CLAVE	NUBOSIDAD
1 Cielo despejado	No hay nubes. Una octa o menos pero sin nubes (1/8 de cielo cubierto) Dos octas (2/8 de cielo cubierto)
2 Cielo parcialmente cubierto	Tres octas (3/8 de cielo cubierto) Cuatro octas (4/8 de cielo cubierto) Cinco octas (5/8 de cielo cubierto) Seis octas (6/8 de cielo cubierto)
3 Cielo cubierto	Siete octas o más, pero el cielo no enteramente cubierto (7/8 de cielo cubierto) Ocho octas (8/8 cielo enteramente cubierto)

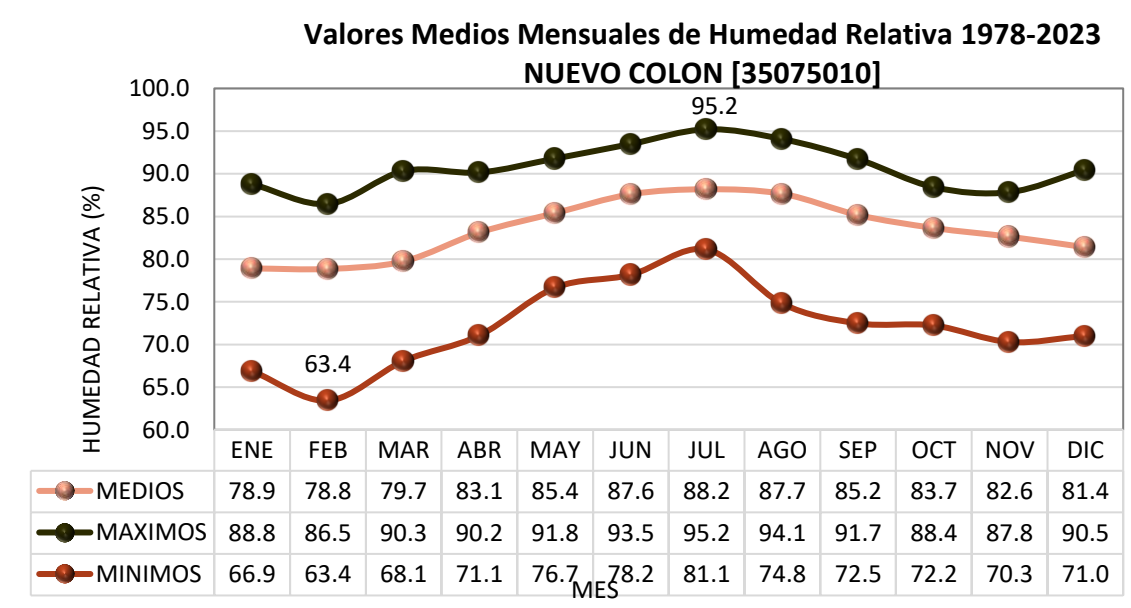
Fuente: IDEAM.

Diseño Construcción e Ingeniería

3.3.3 Humedad Relativa

La humedad atmosférica se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire y es un parámetro clave para describir el comportamiento climático de una zona. En particular, la humedad relativa corresponde a la relación, expresada en porcentaje (%), entre la cantidad real de vapor de agua contenida en el aire y la cantidad máxima que podría contener a la misma temperatura (condición de saturación). Este indicador permite interpretar qué tan húmedo o seco se percibe el ambiente y puede influir en procesos como la evapotranspiración y la formación de nubes y precipitación. De acuerdo con los registros de la estación analizada, se presenta una humedad relativa media multianual de 83.5%, con valores que oscilan entre un máximo de 95.2% y un mínimo de 63.4%, lo cual evidencia condiciones predominantemente húmedas durante el período evaluado.

Gráfica 3. Valores medios mensuales de humedad relativa (%).



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIOS	78.9	78.8	79.7	83.1	85.4	87.6	88.2	87.7	85.2	83.7	82.6	81.4
MAXIMOS	88.8	86.5	90.3	90.2	91.8	93.5	95.2	94.1	91.7	88.4	87.8	90.5
MINIMOS	66.9	63.4	68.1	71.1	76.7	78.2	81.1	74.8	72.5	72.2	70.3	71.0

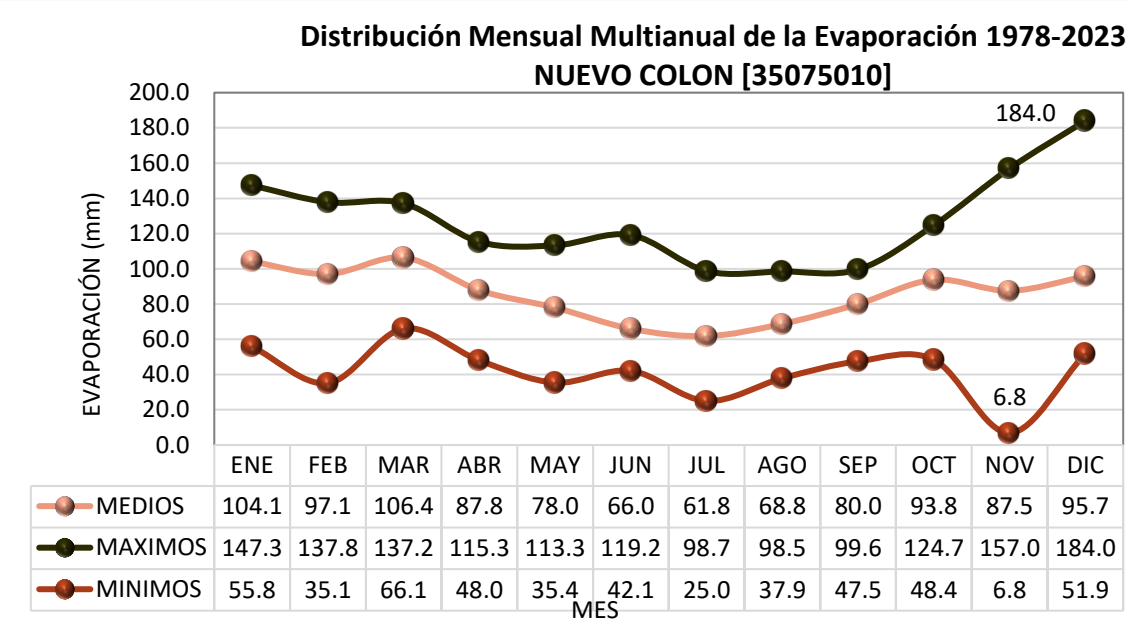
Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Evaporación

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua pasa del estado líquido al gaseoso y se transfiere desde superficies como suelos, cuerpos de agua o vegetación hacia la atmósfera. En hidroclimatología, este fenómeno está directamente influenciado por factores como la temperatura del aire, la radiación solar, la humedad relativa y el viento. Es un componente fundamental del ciclo hidrológico, ya que representa una de las principales formas de pérdida de agua en los ecosistemas. De acuerdo con los registros

de la estación analizada, se presenta una evaporación media multianual de 85.6, con valores que oscilan entre un máximo de 184.0 y un mínimo de 6.8, lo cual evidencia condiciones variables durante el período evaluado.

Gráfica 4. Valores medios mensuales de evaporación.



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIOS	104.1	97.1	106.4	87.8	78.0	66.0	61.8	68.8	80.0	93.8	87.5	95.7
MAXIMOS	147.3	137.8	137.2	115.3	113.3	119.2	98.7	98.5	99.6	124.7	157.0	184.0
MINIMOS	55.8	35.1	66.1	48.0	35.4	42.1	25.0	37.9	47.5	48.4	6.8	51.9

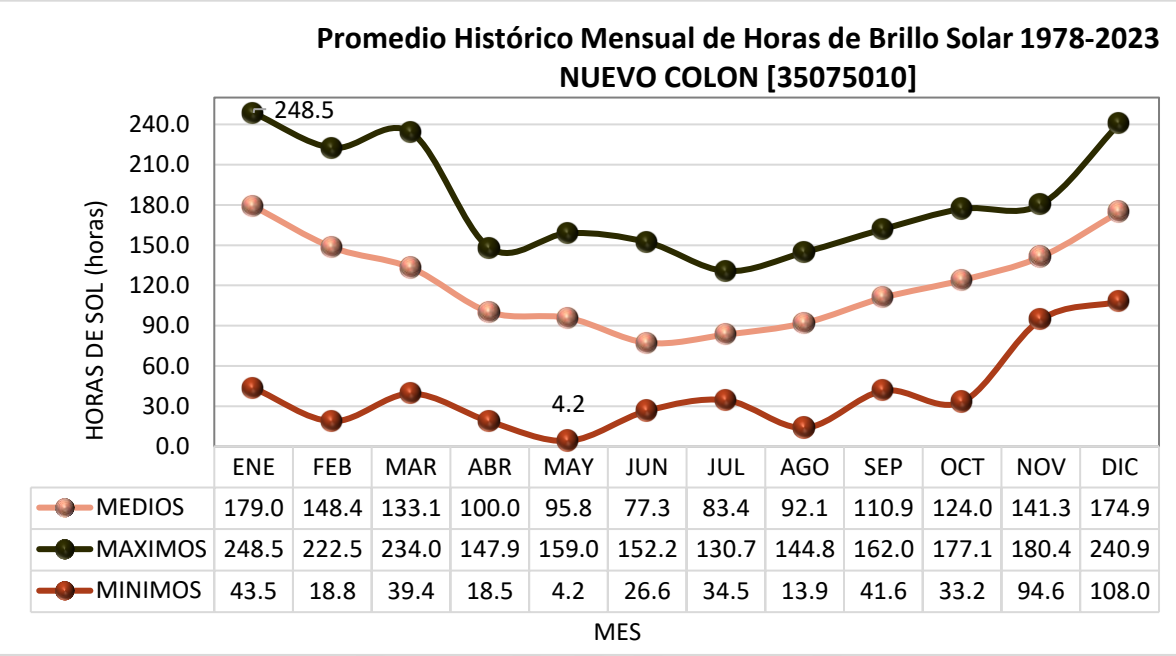
Fuente: Elaboración propia.

3.3.5 Brillo solar

El brillo solar se refiere a la cantidad de horas de sol efectivo en un día, también conocido como insolación. Este indicador mide el tiempo durante el cual la superficie terrestre recibe radiación solar directa. Se calcula sumando las horas de brillo solar diario para obtener valores mensuales o anuales. De acuerdo con los registros de la estación analizada, se presenta un brillo solar medio multianual de 121.4, con valores que oscilan entre un máximo de 284.5 y un mínimo de 4.2, lo cual evidencia condiciones variables durante el período evaluado.

INGEOTECK Diseño Construcción e Ingeniería

Gráfica 5.Valores medios mensuales de brillo solar.



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIOS	179.0	148.4	133.1	100.0	95.8	77.3	83.4	92.1	110.9	124.0	141.3	174.9
MAXIMOS	248.5	222.5	234.0	147.9	159.0	152.2	130.7	144.8	162.0	177.1	180.4	240.9
MINIMOS	43.5	18.8	39.4	18.5	4.2	26.6	34.5	13.9	41.6	33.2	94.6	108.0

Fuente: Elaboración propia.

3.4 RÉGIMEN DE LLUVIAS

Con el propósito de caracterizar el régimen de precipitación en el área de influencia del proyecto, se realizó un análisis estadístico a partir de los registros históricos suministrados por el IDEAM para la estación previamente referenciada. Para dicha estación se recopiló una serie con una extensión aproximada de 54 años, correspondiente al período 1971–2024. Posteriormente, la base de datos fue sometida a un proceso de revisión y depuración, debido a la presencia de vacíos de información en algunos años, con el fin de garantizar consistencia y confiabilidad en los resultados.

- Número días mensuales de precipitación.
- Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas (mm).
- Valores totales mensuales de precipitación (mm).

3.4.1 Análisis estadístico valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas

En la siguiente tabla se presentan los valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas, expresados en milímetros (mm), correspondientes a la información histórica analizada. La tabla incluye la distribución de dichos valores para cada mes del año, así como el valor anual máximo, lo cual permite identificar los períodos de mayor intensidad de lluvia y sirve como base para el análisis hidrológico y el diseño de las obras de drenaje del proyecto.

Tabla 3. Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas

VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)													
AÑO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**VR ANUAL**
1971	14.3	10.6	17.1	19.5	50.8	17.5	20.4	9.5	25.0	16.5	17.0	12.1	50.8
1972	18.7	32.8	8.1	27.4	20.4	17.3	14.7	12.2	19.9	25.4	21.2	9.6	32.8
1973	1.7	16.2	14.8	11.8	25.6	14.1	15.7	25.4	23.8	16.6	12.4	12.9	25.6
1974	3.7	7.7	49.9	20.1	9.9	14.2	26.9	18.8	14.0	28.5	16.4	1.2	49.9
1975	4.6	25.3	18.4	7.0	19.1	15.6	12.9	14.5	24.4	15.6	23.5	16.7	25.3
1976	3.0	7.9	8.5	17.0	22.8	23.6	17.8	11.3	19.8	19.4	28.5	5.5	28.5
1977	0.0	2.0	15.3	18.7	21.1	13.1	9.3	17.5	40.7		17.2		40.7
1978	0.8	9.0	16.8	17.4	12.6	11.6	23.0	17.6	11.4	18.3	22.0	8.5	23.0
1979	3.0	5.0	7.9	46.0	14.5	21.2	21.7	12.9	8.2	36.3	21.0	80.0	80.0
1980	6.0	18.2	7.0	16.2	17.1	25.4	31.0	16.0	14.0	36.8	17.1	16.6	36.8
1981	25.6	14.8	3.5	32.0	36.3	16.0	21.3	15.7	18.2	49.3	19.7	7.0	49.3
1982	6.1	5.5	8.5	15.8	14.8	18.4	19.2	19.4	17.0	12.0	11.6	8.3	19.4
1983	1.8	11.0	10.4	13.3	12.4	9.2	20.9	15.2	10.0	12.0	6.8	7.5	20.9
1984	10.5	24.2	12.0	11.0	17.3	27.7	13.0	23.8	18.5	30.5	19.5	7.0	30.5
1985	13.8	4.0	17.2	20.3	16.4	17.3	16.8	13.0	14.0	44.5	14.8	36.5	44.5
1986	4.7	18.9	31.3	35.9	12.3	17.5	14.7	8.7	16.2	22.6	10.3	2.7	35.9
1987	3.0	20.7	9.5	17.0	20.5	23.2	30.0	13.8	8.8	17.7	9.0	3.5	30.0
1988	4.7	25.6	4.0	40.7	30.0	23.4	23.6	6.0	16.9	22.0	30.5	12.7	40.7
1989	7.6	6.8	21.6	16.1	15.8	10.9	25.1	17.4	14.2	13.4	21.5	16.6	25.1
1990	3.6	11.3	11.4	20.5	26.9	10.9	14.2	11.6	14.8	30.0	8.6	4.9	30.0
1991	0.2	5.5	13.8	12.4	18.2	17.8	27.3	21.7	12.9	23.5	7.9	2.4	27.3
1992	6.0	7.8	37.7	13.3	19.5	7.7	18.9	20.4	20.9	5.0	34.4	2.8	37.7
1993	5.8	7.5	10.0	13.0	12.9	20.0	18.8	10.0	26.0	15.2	15.0	4.4	26.0
1994	5.8	6.1	10.6	10.7	19.8	18.8	16.8	7.0	21.1	21.5	15.6	4.0	21.5
1995	5.7	5.2	35.0	17.0	11.7	15.2	16.2	9.2	26.2	18.7	10.6	17.5	35.0
1996	11.9	21.8	12.9	25.2	30.8	15.9	22.0	9.2	16.2	24.0	8.2	38.6	38.6
1997	14.6	4.2	7.0	10.2	18.5	23.4	23.5	14.6	24.0	42.5	9.9	5.5	42.5
1998	2.3	5.0	9.5	16.5	25.1	18.1	18.5	14.6	13.0	25.0	0.0	3.1	25.1
1999	9.0	17.0	7.3	10.2	10.6	13.4	10.5	6.0	23.2	14.5	31.8	21.8	31.8
2000	10.2	17.6	13.6	9.0	24.8	22.0	27.4	31.2	23.8	16.2	35.8	7.4	35.8

VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)													
AÑO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**VR ANUAL**
2001	0.3	9.6	8.6	9.8	20.2	14.8	16.0	19.5	20.2	13.4	15.2	7.8	20.2
2002	0.8	7.7	20.8	15.6	34.0	26.4	16.0	29.2	19.4	13.8	7.0	4.8	34.0
2003	0.0	10.0	14.2	9.6	15.5	14.5	17.5	10.4	16.5	24.5	10.0	17.5	24.5
2004	6.1	7.3	15.0	20.5	25.0	13.2	18.7	18.5	31.8	7.5	19.5	12.3	31.8
2005	6.5	3.8	17.6	37.0	16.5	11.2	22.8	12.5	19.6		17.2	5.5	37.0
2006	10.7	2.2	14.5	25.2	10.6	21.5	14.2	11.3	27.6	20.0	44.3	9.3	44.3
2007	0.5	10.1	14.0	24.2	19.0		19.2	19.4	8.9	25.2	7.4	23.8	25.2
2008	10.7	7.5	20.0	17.8	13.8	26.0	14.5	21.5	12.4	9.5	37.3	14.7	37.3
2009	20.6	23.6	17.8	35.8	28.7	13.2	15.0	14.6	10.4	24.5	14.8	3.5	35.8
2010	1.2	13.4	7.2	30.1	20.0	20.0	25.4	9.5	10.0	26.0		10.0	30.1
2011	7.2	14.0	17.3	24.0	39.5	21.0	37.0	27.5	35.5	15.5	34.0	9.5	39.5
2012	12.0	9.0	10.0	37.5	13.0	18.0	18.5	17.5	7.0	13.0	16.5	5.0	37.5
2013	5.5	22.0	23.6	31.5	39.3	14.0	24.0	16.5	13.0	14.0	22.0	9.0	39.3
2014	1.5	26.3	10.3	24.0	19.0	16.0	19.5	10.0	9.5	20.0	14.0	12.0	26.3
2015	3.0	15.0	9.5	14.5	13.0	27.0	14.0	18.0	9.5	2.7	7.5	7.2	27.0
2016	2.0	2.5	2.5	22.5	17.0	17.0	19.1	23.8	13.0	19.0	20.0	16.5	23.8
2017	19.0	12.0	25.0	17.0	19.5	24.0	17.5	15.5	35.0	12.0	90.0	32.5	90.0
2018	22.0	10.2	16.0	40.7	20.0	16.5	14.0	13.5	40.0	82.0	14.0	0.0	82.0
2019	9.0	1.5	29.0	20.0	24.0	15.5	11.0	13.5	18.0	16.0	12.0	14.0	29.0
2020	7.5	20.0	6.5	16.0	17.8	25.7	14.4	13.3	12.7	9.1	36.0	7.5	36.0
2021	11.0	4.5	26.0	32.0	21.0	19.0	12.7	11.0	16.5	16.0	38.0	0.7	38.0
2022	11.0	6.0	12.0	28.0	14.8	24.0	12.0	14.0	38.0	13.0	16.0	7.0	38.0
2023	21.5	4.0	29.0	16.0	53.0	18.5	17.0	13.0	13.0	7.5	11.0	6.0	53.0
2024	0.0	11.0	23.5	49.0	15.5	35.0	16.3	8.5	30.0	21.0	19.0	5.5	49.0
MEDIOS	**7.4**	**11.6**	**15.6**	**21.5**	**21.1**	**18.3**	**18.9**	**15.3**	**19.0**	**21.1**	**19.6**	**11.7**	**16.8**
MÁXIMOS	**25.6**	**32.8**	**49.9**	**49.0**	**53.0**	**35.0**	**37.0**	**31.2**	**40.7**	**82.0**	**90.0**	**80.0**	**90.0**
MÍNIMOS	**0.0**	**1.5**	**2.5**	**7.0**	**9.9**	**7.7**	**9.3**	**6.0**	**7.0**	**2.7**	**0.0**	**0.0**	**0.0**

Fuente: IDEAM.

Diseño Construcción e Ingeniería

A partir del análisis estadístico de la información, considerando medidas de tendencia central, dispersión y forma, se obtuvieron las tablas estadísticas correspondientes, así como el histograma de frecuencias absoluta y acumulada, los cuales permiten describir y analizar el comportamiento de los valores consignados.

Tabla 4. Análisis estadístico valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas

Variable	Valor
No. de años	54
No. Total meses	648
No. Meses registrados	643
Precipitación Máx.	90.0 mm

Precipitación Mín.	0.0 mm
Precipitación Media	16.7 mm
Desviación Estándar	10.2 mm
Mediana	15.6 mm
Rango	90.0 mm
Intervalos	10
Rango de intervalo	9.0 mm

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Cálculo del histograma de frecuencia - valores máximos mensuales en 24 horas.

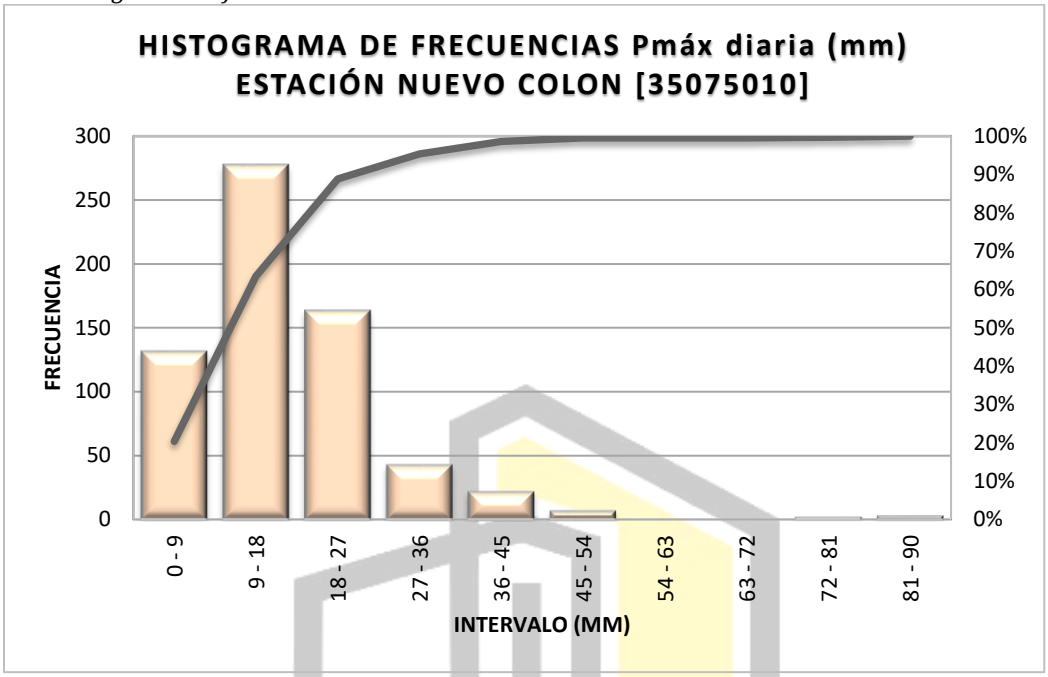
No.	Intervalo	Límite Máx. Intervalo	Frecuencia	Porcentaje Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Porcentaje F. Acumulada
1	0 - 9	9	131	20.4%	131	20.4%
2	9 - 18	18	277	43.1%	408	63.5%
3	18 - 27	27	163	25.3%	571	88.8%
4	27 - 36	36	42	6.5%	613	95.3%
5	36 - 45	45	21	3.3%	634	98.6%
6	45 - 54	54	6	0.9%	640	99.5%
7	54 - 63	63	0	0.0%	640	99.5%
8	63 - 72	72	0	0.0%	640	99.5%
9	72 - 81	81	1	0.2%	641	99.7%
10	81 - 90	90	2	0.3%	643	100.0%

Fuente: Elaboración propia.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

De acuerdo con el histograma de frecuencias, la mayor concentración de registros se presenta en los intervalos de menor precipitación, destacándose principalmente el rango de 9 a 18 mm como el de mayor recurrencia. Asimismo, la distribución muestra una asimetría positiva (sesgo hacia la derecha), evidenciada por la disminución progresiva de la frecuencia a medida que aumentan los valores de lluvia y por la presencia de pocos eventos de alta magnitud. En consecuencia, puede concluirse que las precipitaciones máximas diarias más comunes se ubican alrededor del intervalo señalado, mientras que los eventos extremos ocurren con menor frecuencia.

Gráfica 6. Histograma de frecuencia valores Pmáx 24h.



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla que se presenta a continuación se consolidan los promedios mensuales multianuales de la precipitación máxima en 24 horas, reportados en milímetros (mm) y también como porcentaje en relación con el máximo multianual general. Adicionalmente, para cada mes se incluye la desviación estándar, tanto en mm como en %, con el fin de reflejar la variabilidad de los registros a lo largo del año.

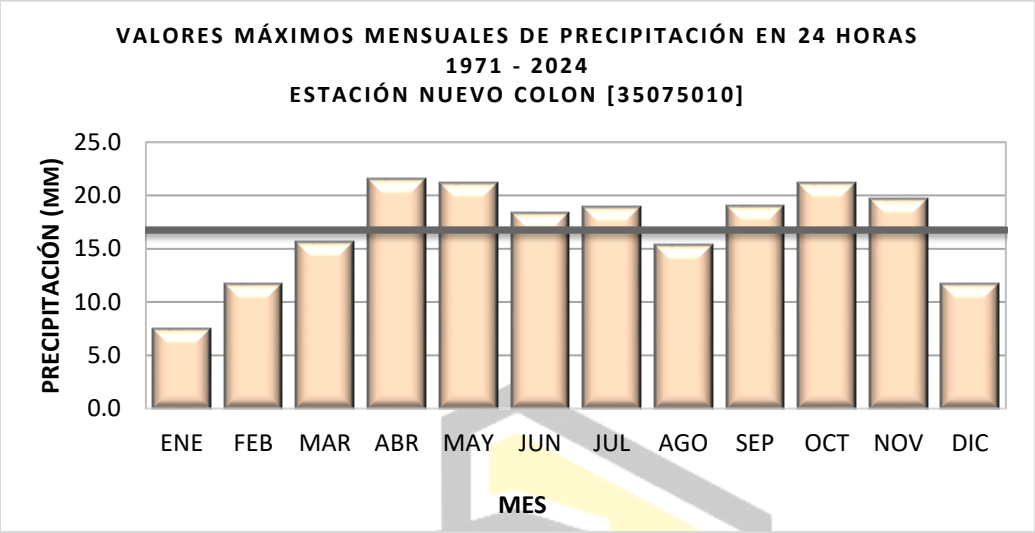
Tabla 6. Valores máximos de precipitación mensual (24h) multianual y desviaciones estándar.

Mes	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
Pm (mm)	7.4	11.6	15.6	21.5	21.1	18.3	18.9	15.3	19.0	21.1	19.6	11.7	16.8
σ (mm)	6.4	7.5	9.2	10.1	9.3	5.4	5.6	5.7	8.5	12.9	13.8	12.7	10.2
Pm (%)	44.0	69.5	92.9	128.2	125.8	109.5	112.6	91.3	113.3	126.1	117.2	69.7	100.0
Pm: Precipitación media mensual Pmax 24h								σ: Desviación Estándar					

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente gráfica se muestra el histograma de los promedios mensuales multianuales de los valores máximos de precipitación en 24 horas obtenido a partir de la información obtenida del IDEAM.

Gráfica 7. Histograma de valores máxima precipitación mensual (24h) multianual.



Fuente: OSPAM INGENIERÍA S.A.S.

Del análisis multianual de los valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas se observa que, entre marzo y noviembre, los registros se mantienen en un rango relativamente similar, con fluctuaciones moderadas alrededor del valor medio. En contraste, los valores más bajos se presentan en enero, febrero y diciembre, lo que evidencia una disminución de la intensidad máxima diaria en esos meses. De acuerdo con la gráfica, el mayor pico se registra en abril, alcanzando un máximo multianual cercano a 21,5 mm, seguido por valores también altos en mayo y octubre.

3.4.2 Análisis número de días lluviosos multianual mensual

El número histórico de días con precipitación a nivel mensual, obtenido a partir de los registros del IDEAM para la estación seleccionada, se presenta en la siguiente tabla. Esta información permite identificar la frecuencia mensual de ocurrencia de lluvia y reconocer los períodos del año con mayor o menor presencia de días lluviosos dentro del área de influencia del proyecto.

Tabla 7. Histórico de número de días mensuales de precipitación.

VALORES NÚMERO DE DÍAS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN													
AÑO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**VR ANUAL**
1971	10	8.0	14.0	15.0	28.0	21.0	28.0	27.0	16.0	20.0	13.0	14.0	214.0
1972	15.0	11.0	14.0	19.0	25.0	26.0	27.0	26.0	23.0	16.0	14.0	1.0	217.0
1973	7.0	1.0	9.0	13.0	18.0	25.0	25.0	23.0	25.0	17.0	19.0	16.0	198.0
1974	6.0	7.0	15.0	18.0	16.0	14.0	25.0	21.0	20.0	22.0	23.0	1.0	188.0
1975	5.0	9.0	14.0	13.0	21.0	24.0	25.0	26.0	18.0	24.0	14.0	22.0	215.0

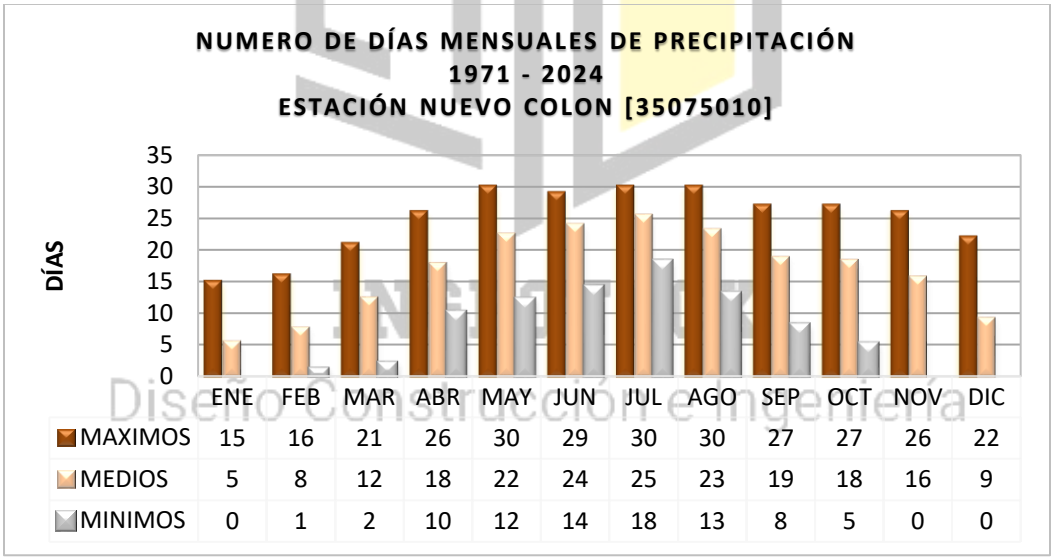
VALORES NÚMERO DE DÍAS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN													
AÑO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**VR ANUAL**
1976	10.0	6.0	18.0	22.0	23.0	29.0	29.0	26.0	19.0	15.0	15.0	14.0	226.0
1977	0.0	4.0	13.0	18.0	27.0	28.0	27.0	25.0	27.0		18.0		187.0
1978	5.0	5.0	15.0	24.0	22.0	29.0	21.0	26.0	22.0	18.0	15.0	9.0	211.0
1979	3.0	4.0	9.0	19.0	22.0	27.0	25.0	26.0	18.0	23.0	21.0	11.0	208.0
1980	6.0	6.0	9.0	19.0	25.0	26.0	28.0	21.0	21.0	19.0	11.0	10.0	201.0
1981	3.0	16.0	7.0	25.0	26.0	27.0	27.0	25.0	24.0	19.0	19.0	11.0	229.0
1982	7.0	11.0	17.0	23.0	24.0	23.0	26.0	28.0	22.0	21.0	16.0	10.0	228.0
1983	6.0	12.0	8.0	23.0	26.0	18.0	27.0	24.0	22.0	17.0	12.0	10.0	205.0
1984	8.0	13.0	11.0	12.0	19.0	28.0	24.0	30.0	23.0	13.0	18.0	3.0	202.0
1985	1.0	3.0	13.0	13.0	22.0	29.0	25.0	28.0	20.0	19.0	10.0	8.0	191.0
1986	3.0	14.0	15.0	21.0	20.0	24.0	26.0	27.0	22.0	25.0	18.0	14.0	229.0
1987	5.0	12.0	8.0	19.0	22.0	25.0	27.0	29.0	20.0	21.0	18.0	11.0	217.0
1988	1.0	5.0	5.0	15.0	19.0	22.0	26.0	22.0	20.0	22.0	25.0	13.0	195.0
1989	6.0	8.0	21.0	10.0	22.0	25.0	25.0	22.0	14.0	22.0	15.0	4.0	194.0
1990	10.0	10.0	15.0	20.0	27.0	25.0	30.0	22.0	18.0	18.0	16.0	9.0	220.0
1991	1.0	8.0	15.0	20.0	24.0	26.0	30.0	29.0	22.0	15.0	17.0	7.0	214.0
1992	6.0	8.0	8.0	15.0	23.0	26.0	28.0	23.0	16.0	20.0	19.0	8.0	200.0
1993	8.0	7.0	13.0	18.0	25.0	24.0	26.0	22.0	15.0	16.0	17.0	5.0	196.0
1994	9.0	10.0	14.0	22.0	25.0	25.0	26.0	13.0	20.0	20.0	19.0	5.0	208.0
1995	5.0	4.0	10.0	20.0	22.0	27.0	25.0	20.0	17.0	17.0	14.0	15.0	196.0
1996	9.0	11.0	14.0	13.0	21.0	27.0	27.0	24.0	17.0	19.0	15.0	13.0	210.0
1997	13.0	13.0	10.0	16.0	24.0	19.0	29.0	24.0	16.0	11.0	10.0	5.0	190.0
1998	2.0	7.0	13.0	15.0	26.0	24.0	29.0	23.0	12.0	14.0	0.0	7.0	172.0
1999	6.0	12.0	8.0	19.0	21.0	19.0	23.0	14.0	19.0	23.0	15.0	9.0	188.0
2000	4.0	13.0	11.0	17.0	25.0	21.0	22.0	21.0	21.0	24.0	14.0	15.0	208.0
2001	1.0	6.0	8.0	13.0	25.0	23.0	24.0	26.0	21.0	15.0	14.0	16.0	192.0
2002	3.0	4.0	18.0	19.0	24.0	25.0	25.0	27.0	22.0	17.0	17.0	8.0	209.0
2003	0.0	3.0	13.0	21.0	24.0	24.0	26.0	28.0	26.0	27.0	26.0	13.0	231.0
2004	9.0	7.0	11.0	23.0	30.0	29.0	26.0	28.0	22.0	22.0	14.0	13.0	234.0
2005	10.0	10.0	7.0	25.0	28.0	22.0	27.0	28.0	27.0		20.0	4.0	208.0
2006	12.0	3.0	17.0	25.0	24.0	28.0	28.0	29.0	21.0	27.0	18.0	14.0	246.0
2007	2.0	7.0	10.0	19.0	24.0		23.0	29.0	24.0	26.0	20.0	15.0	199.0
2008	8.0	8.0	11.0	11.0	23.0	25.0	30.0	27.0	23.0	21.0	20.0	9.0	216.0
2009	13.0	9.0	18.0	15.0	16.0	23.0	24.0	25.0	17.0	17.0	8.0	5.0	190.0
2010	2.0	8.0	15.0	20.0	25.0	22.0	26.0	18.0	12.0	21.0		15.0	184.0
2011	6.0	14.0	20.0	20.0	25.0	23.0	27.0	15.0	19.0	15.0	17.0	12.0	213.0
2012	7.0	7.0	17.0	23.0	20.0	20.0	26.0	20.0	16.0	17.0	10.0	5.0	188.0
2013	1.0	7.0	15.0	15.0	22.0	19.0	22.0	26.0	17.0	14.0	20.0	15.0	193.0
2014	2.0	7.0	10.0	19.0	13.0	22.0	25.0	19.0	16.0	17.0	12.0	10.0	172.0
2015	4.0	8.0	10.0	16.0	17.0	26.0	20.0	25.0	12.0	12.0	21.0	7.0	178.0
2016	1.0	5.0	10.0	20.0	23.0	26.0	26.0	22.0	19.0	16.0	16.0	12.0	196.0

VALORES NÚMERO DE DÍAS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN													
AÑO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**VR ANUAL**
2017	8.0	7.0	17.0	15.0	21.0	25.0	23.0	15.0	15.0	15.0	10.0	5.0	176.0
2018	5.0	5.0	14.0	26.0	21.0	24.0	24.0	22.0	12.0	18.0	11.0	0.0	182.0
2019	1.0	1.0	6.0	10.0	20.0	22.0	18.0	18.0	12.0	17.0	17.0	12.0	154.0
2020	7.0	3.0	7.0	13.0	25.0	24.0	28.0	23.0	24.0	20.0	17.0	7.0	198.0
2021	4.0	5.0	21.0	16.0	20.0	25.0	24.0	21.0	17.0	17.0	11.0	2.0	183.0
2022	2.0	14.0	18.0	20.0	19.0	20.0	22.0	17.0	15.0	14.0	17.0	4.0	182.0
2023	7.0	3.0	9.0	12.0	12.0	22.0	19.0	15.0	10.0	5.0	9.0	2.0	125.0
2024	0.0	4.0	2.0	12.0	23.0	21.0	25.0	14.0	8.0	14.0	18.0	2.0	143.0
MEDIOS	**5.5**	**7.6**	**12.4**	**17.9**	**22.5**	**24.0**	**25.5**	**23.2**	**18.8**	**18.3**	**15.7**	**9.2**	**200.6**
MÁXIMOS	**15.0**	**16.0**	**21.0**	**26.0**	**30.0**	**29.0**	**30.0**	**30.0**	**27.0**	**27.0**	**26.0**	**22.0**	**30.0**
MÍNIMOS	**0.0**	**1.0**	**2.0**	**10.0**	**12.0**	**14.0**	**18.0**	**13.0**	**8.0**	**5.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**

Fuente: IDEAM.

Analizando estos valores y representando estos valores en histograma, se obtiene la siguiente tabla y figura.

Gráfica 8. Número de días lluviosos multianual mensual.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Número de días mensuales de precipitación multianual y desviaciones estándar.

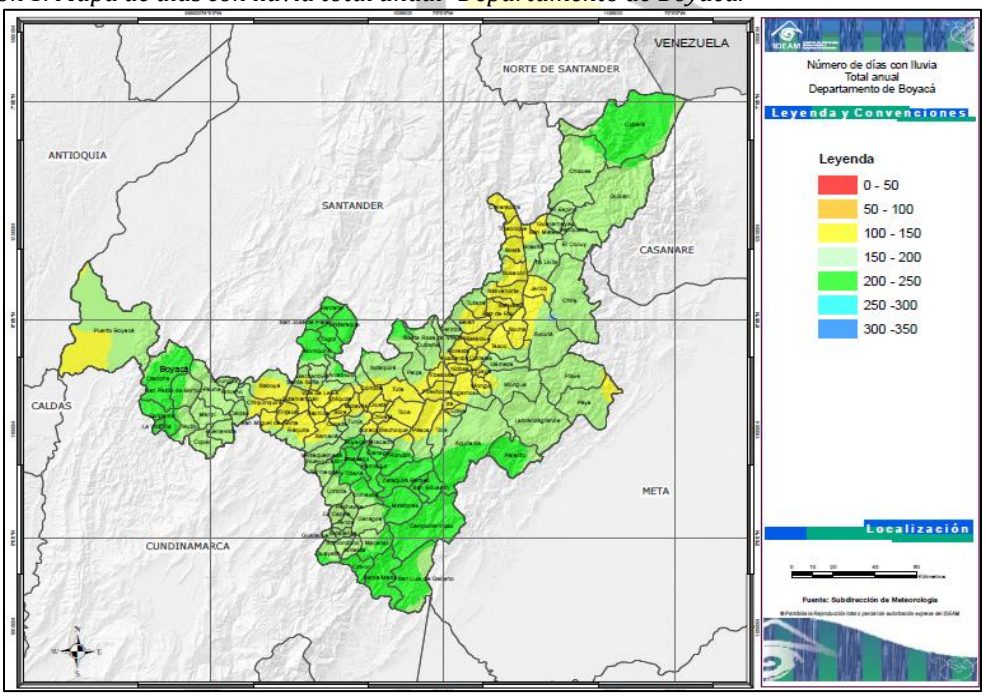
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
Pm (día)	5.5	7.6	12.4	17.9	22.5	24.0	25.5	23.2	18.8	18.3	15.7	9.2	16.7
σ (día)	3.7	3.6	4.2	4.2	3.6	3.1	2.6	4.5	4.4	4.2	4.5	4.9	7.6
Pm (%)	32.7	45.7	74.2	106.8	134.5	143.7	152.4	138.9	112.5	109.7	94.0	55.0	100.0
Pm: Promedio del número de días mensuales de precipitación												σ: Desviación Estándar	

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la serie histórica se evidencia que, en promedio, se registran 17 días con precipitación por mes, lo que representa aproximadamente 201 días lluviosos al año. Asimismo, se identifica que enero, febrero y diciembre son los meses con menor frecuencia de días de lluvia.

En consecuencia, y a manera de síntesis, se considera que diciembre, enero y febrero ofrecen condiciones más favorables para la ejecución de actividades constructivas, dado que presentan menor recurrencia de precipitaciones. En contraste, durante el resto del año se incrementan la frecuencia y, en algunos casos, la intensidad de las lluvias, lo cual puede generar limitaciones operativas y afectar el ritmo normal de las obras.

Ilustración 5. Mapa de días con lluvia total anual- Departamento de Boyacá.



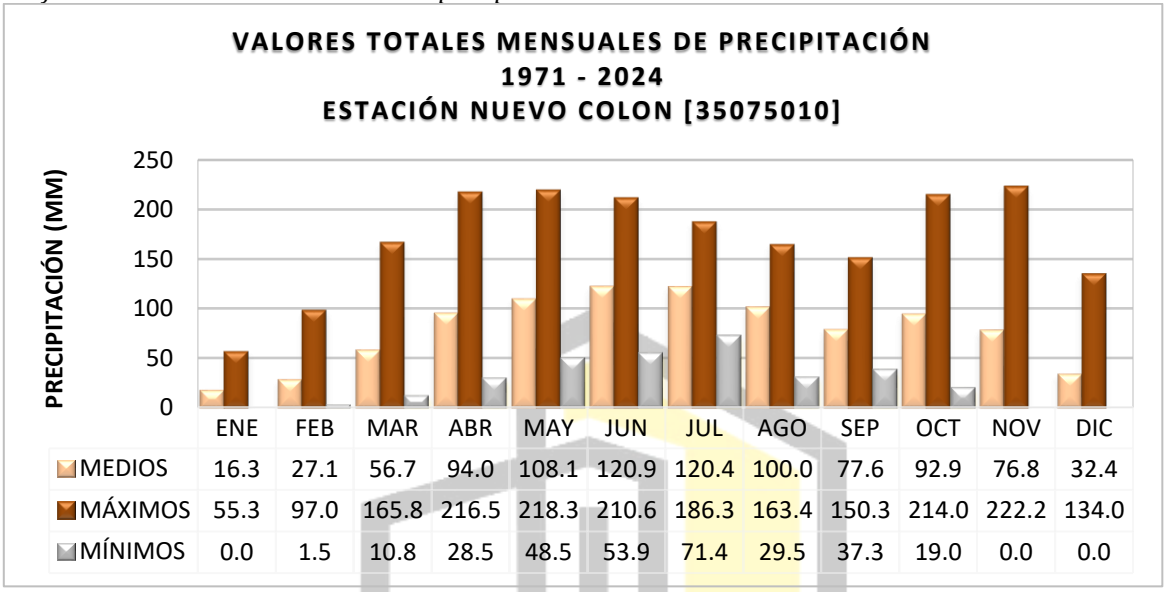
Fuente: *Adaptado Atlas IDEAM Boyacá.*

3.4.3 Análisis estadístico valores totales mensuales de precipitación

De acuerdo con los registros de la estación ubicada en el área de influencia del proyecto, la precipitación acumulada promedio anual es de 923,2 mm. Al analizar la distribución mensual, se observa un máximo total mensual de 222,2 mm, presentándose noviembre como el mes con mayor precipitación media. En contraste, los menores totales mensuales se registran durante diciembre, enero y febrero, evidenciando una reducción significativa de las lluvias en ese período.

Los valores totales mensuales de precipitación se presentan en la siguiente tabla.

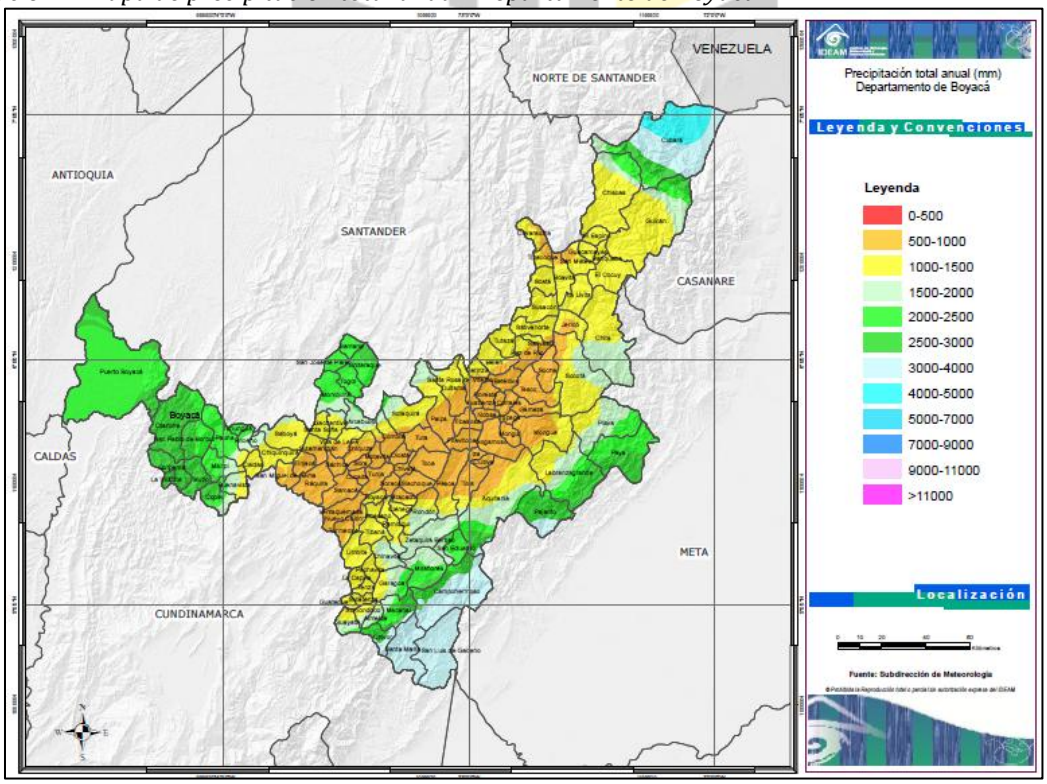
Gráfica 9. Valores totales mensuales de precipitación.



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIOS	16.3	27.1	56.7	94.0	108.1	120.9	120.4	100.0	77.6	92.9	76.8	32.4
MÁXIMOS	55.3	97.0	165.8	216.5	218.3	210.6	186.3	163.4	150.3	214.0	222.2	134.0
MÍNIMOS	0.0	1.5	10.8	28.5	48.5	53.9	71.4	29.5	37.3	19.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 6. Mapa de precipitación total anual- Departamento de Boyacá.



Fuente: *Adaptado Atlas IDEAM Boyacá.*

3.5 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA – IDF

Las curvas intensidad–duración–frecuencia (IDF) son un insumo fundamental para la determinación de los caudales de diseño, ya que representan el comportamiento de las lluvias intensas en una zona determinada. A través de estas curvas se caracterizan los eventos extremos de precipitación y se establece la intensidad media de lluvia asociada a distintas duraciones del evento, para períodos de retorno específicos, lo cual permite definir valores de diseño coherentes con el nivel de riesgo adoptado.

3.5.1 Cálculo de curvas IDF

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos. La metodología seleccionada para la estimación de las curvas IDF es la planteada en el Numeral 2.6.6.3 del Manual de Drenaje de Carreteras 2009 del INVIAS, el cual expone el método simplificado.

3.5.2 Cálculo de curvas IDF por método simplificado

La metodología simplificada de cálculo de las curvas intensidad – duración – frecuencia se debe llevar a cabo siempre y cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración (datos pluviográficos). Para Colombia se propone el método que se presenta en la referencia bibliográfica "VARGAS M.R., DÍAZ-GRANADOS O.M., Universidad de los Andes, "Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia", Santafé de Bogotá, 1998.". En este estudio se dedujeron curvas intensidad-duración frecuencia por correlación con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas, el número promedio de días de lluvia al año, la precipitación total media anual y la elevación de la estación. La mejor correlación obtenida, sin embargo, fue la que se obtuvo con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas en una estación, y es la que se propone para los estudios, además de que es la más sencilla de utilizar. La expresión resultante está dada por:

$$i = \frac{a \cdot T^b \cdot M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

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

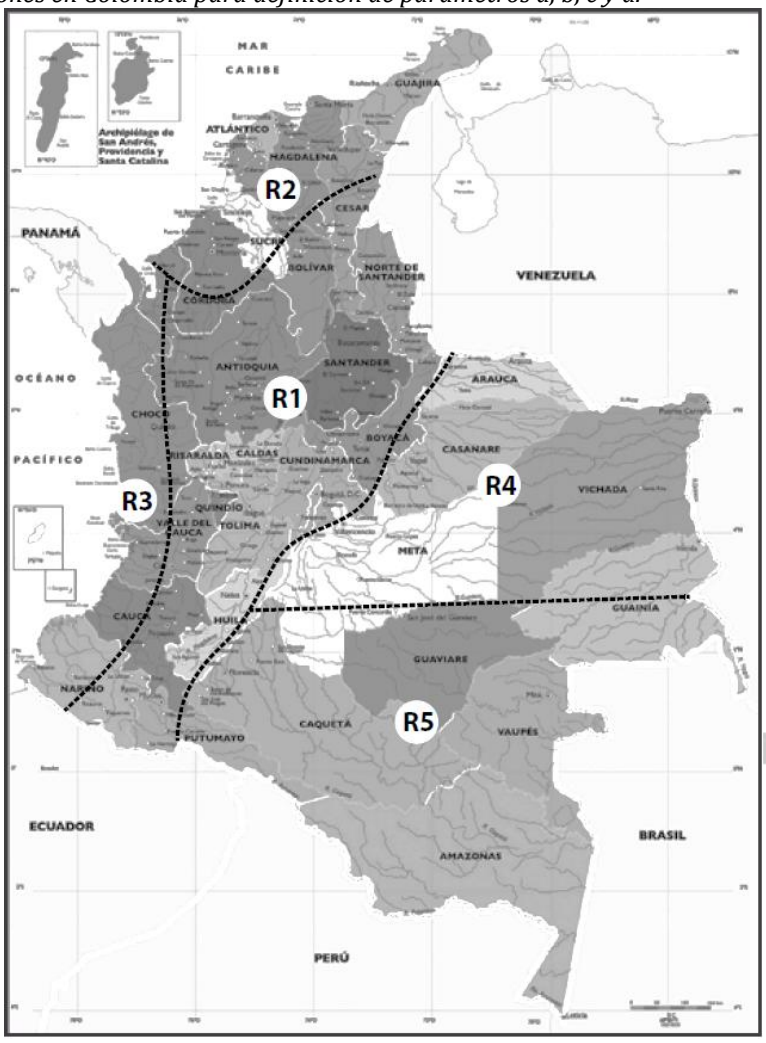
T: Periodo de retorno, en años.

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 el siguiente gráfico y la siguiente tabla.

Ilustración 7. Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d.



Fuente: INVIAS, Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella, pág. 75

Tabla 9. 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)	0.940	0.18	0.66	0.83

REGIÓN		a	b	c	d
Caribe	(R2)	24.850	0.22	0.5	0.1
Pacífico	(R3)	13.920	0.19	0.58	0.2
Orinoquía	(R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Manual De Drenaje de Carreteras INV-2009.

El municipio de Nuevo Colón pertenece a la Región Andina, correspondiente a la Región (R1) del método simplificado. El valor de precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual es de 38.4 mm; valor tomado de la estación agrometeorológica NUEVO COLÓN del IDEAM.

Tabla 10. Precipitación máxima anual en 24 horas.

PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL HISTÓRICA EN 24 HORAS	
Año	Pmáx24h
1971	50.8
1972	32.8
1973	25.6
1974	49.9
1975	25.3
1976	28.5
1977	40.7
1978	23.0
1979	80.0
1980	36.8
1981	49.3
1982	19.4
1999	31.8
2000	35.8
2001	20.2
2002	34.0
2003	24.5
2004	31.8
2005	37.0
2006	44.3
2007	25.2
2008	37.3

INGEOTECK Diseño Construcción e Ingeniería

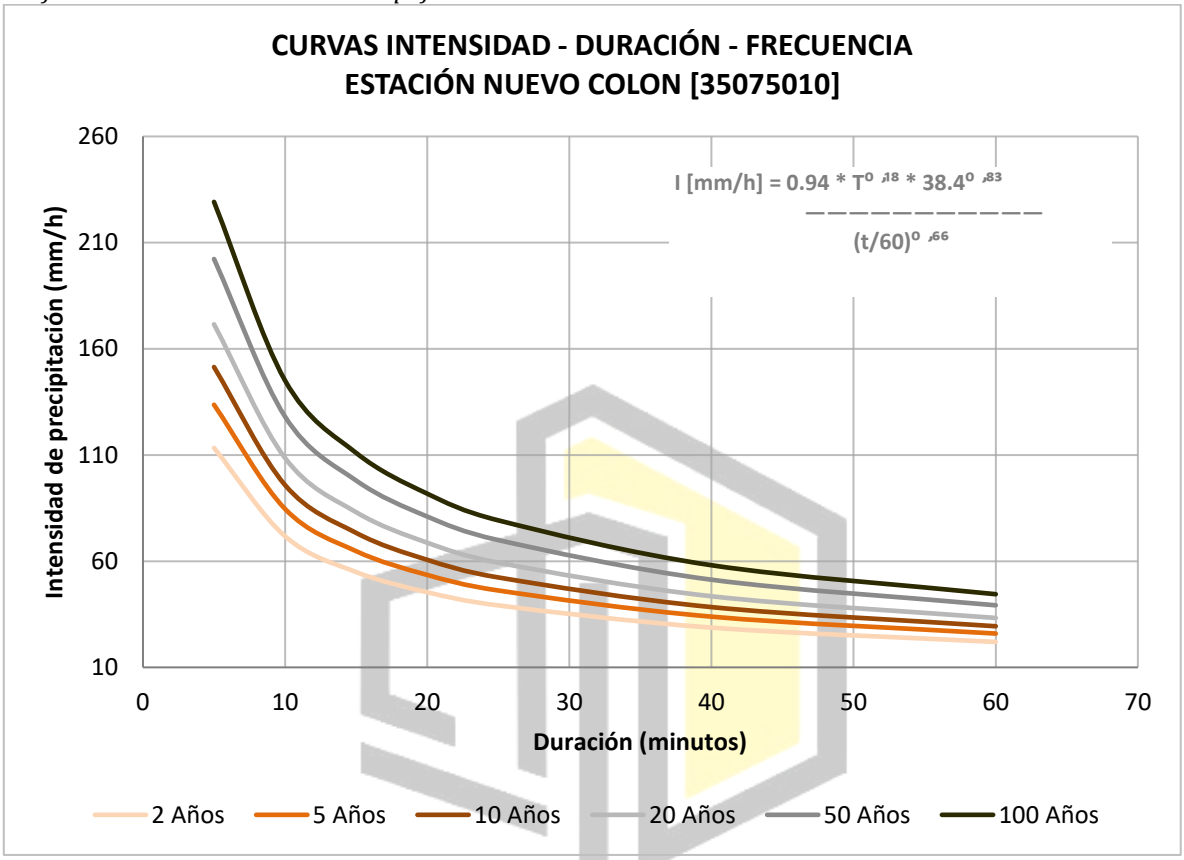
PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL HISTÓRICA EN 24 HORAS	
2009	35.8
2010	30.1
2011	39.5
2012	37.5
2013	39.3
2014	26.3
2015	27.0
2016	23.8
2017	90.0
2018	82.0
2019	29.0
2020	36.0
2021	38.0
2022	38.0
2023	53.0
2024	49.0
Número de datos	**38**
Media	**38.4**
Desv. Est., δ	**16.11**

Fuente: IDEAM.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

Siguiendo la metodología del método simplificado se obtienen las siguientes curvas IDF con su respectiva tabla de construcción generalizadas para el área de drenaje en estudio.

Gráfica 10. Curva IDF – Método simplificado.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Datos de construcción Curva IDF – Método simplificado.

DURACIÓN (min)	PERIODO DE RETORNO					
	2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	100 Años
5	113.33	133.65	151.41	171.53	202.29	229.17
10	71.72	84.59	95.83	108.56	128.03	145.04
15	54.88	64.73	73.33	83.07	97.97	110.98
20	45.39	53.53	60.65	68.70	81.02	91.79
25	39.18	46.20	52.34	59.30	69.93	79.22
40	28.73	33.88	38.38	43.48	51.28	58.09
60	21.98	25.92	29.37	33.27	39.24	44.45
90	16.82	19.84	22.47	25.46	30.03	34.02
120	13.91	16.41	18.59	21.06	24.83	28.13

Fuente: Elaboración propia.

Diseño Construcción Ingeniería

3.6 CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA

Para el desarrollo de los análisis cartográficos y topográficos se emplearon Modelos Digitales de Elevación (DEM) provenientes del satélite ALOS – PALSAR, los cuales presentan una resolución de 12,5 metros. Dichos modelos son de acceso libre, cuentan con cobertura a nivel mundial y se distribuyen en formato GeoTIFF. La información se encuentra referenciada en un sistema de coordenadas geográficas (latitud y longitud) y vinculada al sistema geodésico WGS84 con corrección geoidal EGM96.

Estos modelos digitales de elevación tienen las siguientes aplicaciones:

- Generación de información altimétrica mediante curvas de nivel.
- Corrección espacial de imágenes para garantizar su precisión geométrica.
- Evaluación de las condiciones de pendiente del área de estudio.
- Obtención de perfiles topográficos representativos.
- Identificación y delimitación de cuencas, así como de la red de drenaje superficial.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

4. OBRAS DE DRENAJE VIAL

Los proyectos orientados al mejoramiento de vías, especialmente en red terciaria veredal, buscan fortalecer la conectividad rural y, para garantizar su durabilidad, deben incorporar obras de drenaje que mitiguen el impacto de las lluvias y de la escorrentía natural sobre la calzada. En el tramo evaluado se requiere la implementación de estructuras de drenaje transversal que aseguren la continuidad de los cauces existentes y conduzcan adecuadamente las aguas superficiales hacia los puntos de descarga, mediante su captación y evacuación a través de alcantarillas.

4.1 OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL EXISTENTE

Dentro del tramo vial objeto de estudio se identifica una obra de drenaje transversal existente. En la siguiente tabla se presenta su ubicación y el tipo de obra correspondiente.

Tabla 12. Obras de drenaje transversal existentes.

TR	ABSCISA / UBICACIÓN	OBRA DE DRENAJE EXISTENTE N°	TIPO DE OBRA EXISTENTE	LONG.	ESPECIFICACIÓN
1.0	PR 0+038.0	DRENAJE EXISTENTE 1	BOXCULVERT bxh=1.8x2.0m	5m	Requiere revisión estructural

Fuente: Elaboración propia.

INGEOTECK Diseño Construcción e Ingeniería

En las siguientes fotografías se observa la estructura indicada en la tabla anterior.

Ilustración 8. Registro fotográfico estructura existente



Fuente: Consultoría.

En los siguientes capítulos se presenta la evaluación hidráulica de la estructura de drenaje existente.

4.1.1 ÁREAS DE DRENAJE

El área de drenaje reportada en la siguiente tabla considera exclusivamente los aportes de escorrentía superficial provenientes de la corona de la vía, los taludes de corte y relleno, y las zonas aledañas que presentan influencia hidrológica directa sobre la estructura de drenaje.

La cartografía base utilizada para la delimitación de dicha área se obtuvo a partir de Modelos Digitales de Elevación (DEM) disponibles en el portal de información geoespacial del IGAC Colombia en Mapas, con una resolución espacial de 10 m, los cuales son de acceso libre y se encuentran almacenados en formato GeoTIFF. Se realizó el procedimiento para la delimitación de una cuenca hidrográfica, sobre la plataforma de ArcGIS Pro, obteniéndose un área aferente hasta el sitio de drenaje.

Tabla 13. Áreas de Drenaje.

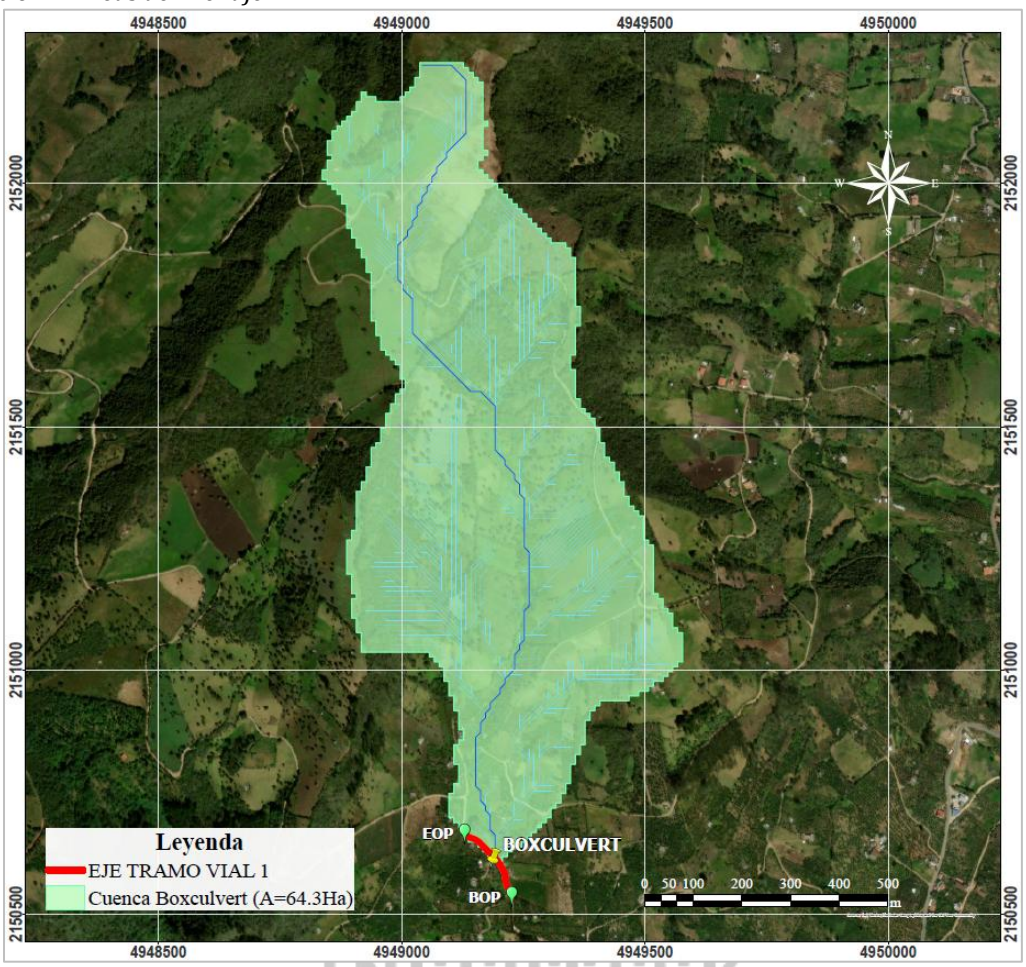
TRAMO	ABSCISA / UBICACIÓN	OBRA DE DRENAJE EXISTENTE N°	ÁREA (ha)	ÁREA (km²)
1.0	PR 0+038.0	BOXCULVERT bxh=1.8x2.0m	64.27	0.64

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se presenta el área de drenaje obtenida para la obra de drenaje transversal objeto de estudio.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

Ilustración 9. Áreas de Drenaje.



Fuente: Elaboración propia.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

4.1.2 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL CAUDAL

La metodología para estimar el caudal se basa en el siguiente procedimiento:

- En base al análisis del GDEM y la topografía de detalle levantada en campo, se procede a determinar el comportamiento y dirección de la escorrentía superficial.

- En base a la cobertura vegetal, el tipo y uso de suelo se definen los coeficientes de rugosidad y escorrentía.

- Dependiendo del tipo de obra a estimar se selecciona el grado de protección deseado y el período de retorno a utilizarse para el cálculo de caudales.

- Igualmente se debe estimar el tiempo de concentración que tardará la escorrentía en llegar a las obras y así poder definir la intensidad de precipitación.

- Con la delimitación de las áreas aferentes, período de retorno e intensidad y coeficiente de escorrentía se realiza el cálculo de caudales.

- Una vez se tengan los caudales se procede al dimensionamiento y ubicación de las medidas y obras a proponer para controlar la escorrentía superficial.

- Dependiendo de las características de infiltración se estiman las obras de drenaje subsuperficial con el fin de eliminar el agua del suelo.

En esta metodología describe de manera muy resumida los pasos a seguir para hacer la evaluación y diseño de una estructura hidráulica.

Es pertinente aclarar que la anterior metodología depende esencialmente del criterio profesional y del reconocimiento del sitio que da una gran idea de las posibles alternativas que puedan dar solución al manejo de aguas.

4.1.2.1 Método seleccionado para la estimación de caudales

Se sugiere emplear el método racional para estimar el caudal de diseño de las obras de drenaje, ya que el área aportante asociada al deslizamiento corresponde a una cuenca menor de 2,5 km^2. Además, es uno de los procedimientos más utilizados para el cálculo de caudales extremos en cuencas pequeñas, como la del presente caso de estudio.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

Este método permite determinar los caudales máximos para distintos períodos de retorno mediante una formulación matemática que incorpora las características hidrológicas y morfométricas de cada cuenca. En términos generales, relaciona el caudal en un punto específico con la precipitación máxima que incide sobre el área de drenaje. El método racional se expresa mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Método racional

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Donde:

- Q = Caudal máximo, (m^3/s)
- C = Coeficiente de escorrentía
- i = Intensidad de la lluvia, (mm/h)

- A = Área de Drenaje, (km^2)

4.1.2.2 Consideraciones topográficas

El análisis de la topografía del sitio es una etapa fundamental para definir las acciones y obras necesarias orientadas al control del drenaje superficial y subsuperficial. A partir de este estudio se puede identificar el tipo de terreno según su elevación y pendientes, estableciendo si corresponde a un relieve escarpado, montañoso, ondulado o plano. Asimismo, permite comprender la configuración de las pendientes presentes en la ladera o talud y reconocer los usos y la ocupación del suelo dentro del área evaluada.

De igual manera, el análisis topográfico facilita la identificación de posibles obstrucciones al flujo, la presencia de cuerpos de agua y la ubicación de confluencias o puntos de desembocadura dentro del área de influencia. También resulta útil para revisar la existencia de obras de drenaje ya construidas, el trazado actual de la vía y la delimitación de las áreas aferentes requeridas para el planteamiento de nuevas obras de drenaje.

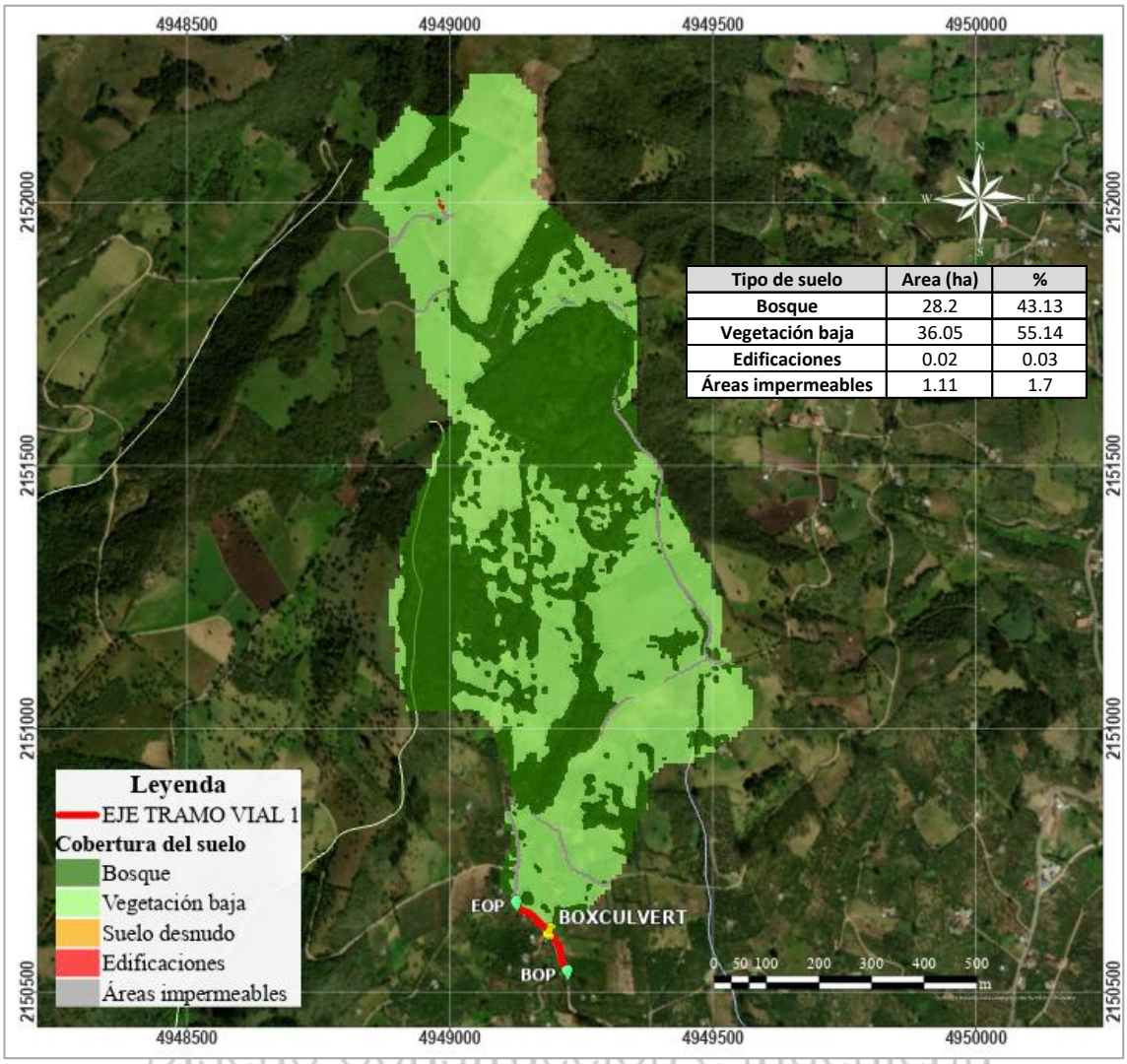
La información obtenida se convierte en un insumo clave para el análisis hidráulico posterior, ya que permite definir con mayor precisión las condiciones de drenaje y contribuir a garantizar la estabilidad del sitio y de las obras proyectadas.

4.1.2.3 Uso del suelo

La metodología empleada para la determinación del uso del suelo se fundamentó en la segmentación de coberturas a partir de imágenes satelitales multiespectrales y modelos de aprendizaje profundo como DeepLabV3+ y UNet, permitiendo clasificar con alta precisión elementos clave del territorio (vegetación, infraestructura, agua, suelo desnudo) a distintas escalas espaciales utilizando datos de Sentinel-2, Chesapeake Bay y LandCover.ai. En la siguiente figura se presenta el mapa de cobertura del suelo el cual se realizó con base en la metodología explicada sobre la plataforma de ArcGIS Pro.

INGEOTECK Diseño Construcción e Ingeniería

Ilustración 10. Cobertura del suelo.



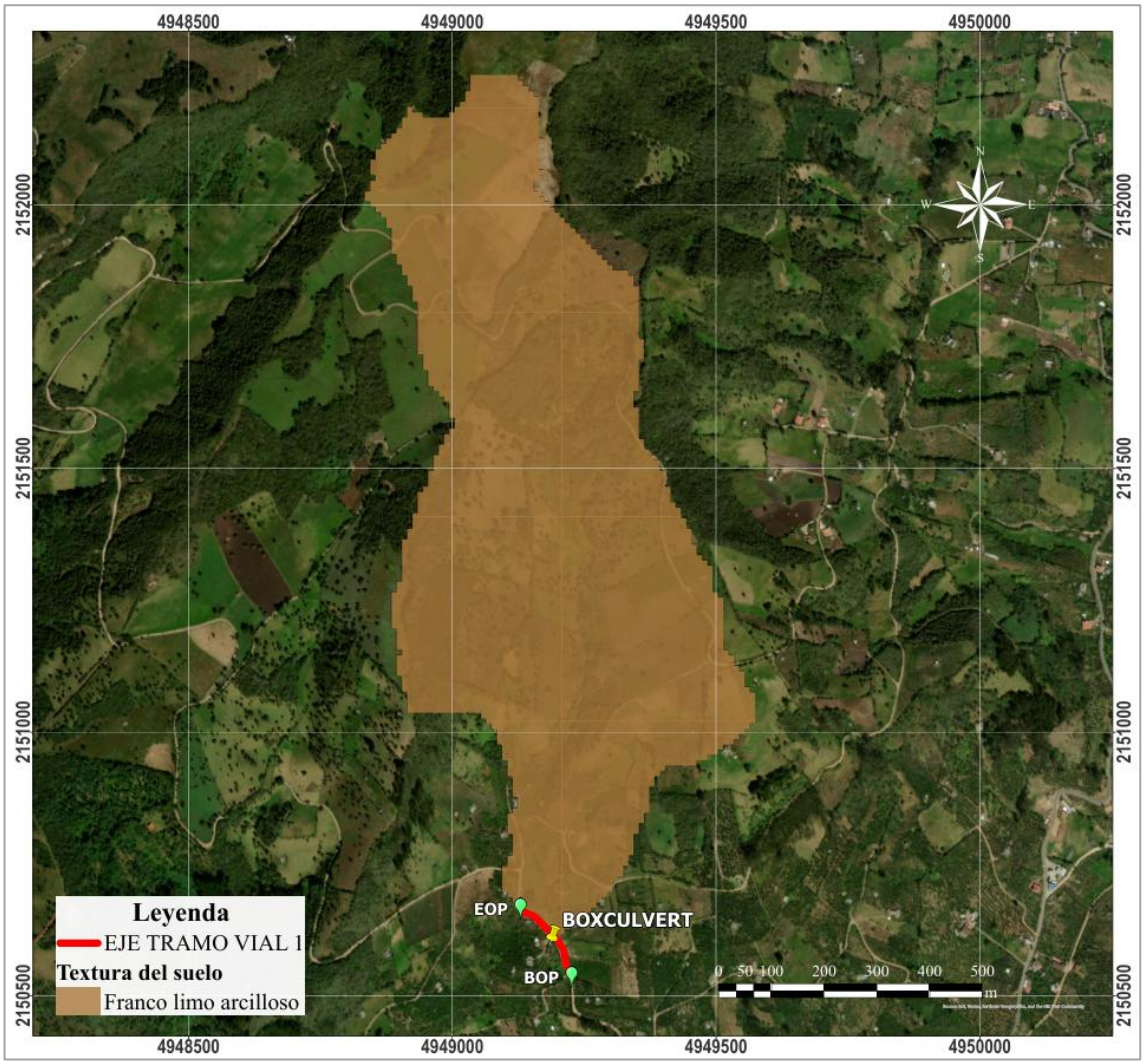
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.4 Textura del suelo

Con el fin de caracterizar las condiciones del suelo en el área de estudio y su influencia en los procesos hidrológicos, se llevó a cabo la identificación de la textura del suelo para cada subcuenca hidrográfica asociada al tramo vial en estudio. Para ello, se utilizaron como fuente principal las planchas de suelos oficiales disponibles en el geoportal de datos abiertos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), las cuales fueron georreferenciadas y digitalizadas en un entorno SIG. Posteriormente, se intersectaron con los polígonos de delimitación de cuencas derivadas del modelo digital de elevación (DEM) y del análisis de redes de drenaje. El resultado de este proceso se presenta en el siguiente mapa, que muestra la distribución espacial de las texturas de suelo

predominantes asignadas la subcuenca, con el propósito de aportar insumos técnicos para el análisis de infiltración, escorrentía y selección de estructuras hidráulicas en el marco del diseño vial.

Ilustración 11. Textura del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 PARÁMETROS GENERALES DE CÁLCULO

A continuación, se definen los criterios generales que permitirán el análisis y estimación de los caudales, acorde a la metodología ya descrita en el subtítulo anterior.

4.1.3.1 Periodos de retorno recomendados según tipo de obra

Para evaluar los requerimientos de drenaje en los puntos críticos, es indispensable determinar los caudales asociados a las cuencas que intersectan la vía, ya que estos representan los flujos que deberán ser captados y conducidos por las obras de drenaje. Estos caudales dependen del período de retorno considerado en el diseño, del área aportante correspondiente a cada estructura, de las propiedades del suelo en la microcuenca, de la intensidad de precipitación y de condiciones específicas propias de cada sitio.

De acuerdo con el tipo de obra y su nivel de importancia, los períodos de retorno empleados para estimar los caudales de diseño se presentan en la siguiente tabla; para este estudio se adoptó un período de retorno de 10 años en alcantarillas y de 5 años en cunetas.

Tabla 14. Períodos de retorno según tipo de obra.

TIPO DE OBRA	Período de Retorno (Años)
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0.9 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.9 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, Manual para el drenaje de carreteras, pág. 2 – 31.

4.1.3.2 Coeficientes de escorrentía

Para la implementación del método racional, resulta indispensable estimar el coeficiente de escorrentía (C) a partir de las condiciones propias de la cuenca, considerando la configuración topográfica, el tipo de cobertura y uso del suelo, así como la textura y demás propiedades superficiales del terreno. Con base en las particularidades del tramo evaluado, a continuación se establecen los parámetros necesarios para la determinación del coeficiente de escorrentía en cada subcuenca.

Las tablas presentadas consolidan los valores de C para zonas rurales y urbanas, de acuerdo con los lineamientos y rangos definidos en el Manual de Drenaje para

Carreteras del INVIAS (2009). Estos coeficientes constituyen el soporte técnico para la asignación de C en cada subcuenca dentro del análisis hidrológico.

Tabla 15/ Valores de coeficientes de escorrentía en áreas rurales.

Vegetación y topografía	TEXTURA DEL SUELO		
	Franco Arenoso	Franco Limo Arcilloso	Franco Arcilloso
Bosques Plano	0.1	0.3	0.4
Bosques Ondulado	0.25	0.35	0.5
Bosques Montañoso	0.3	0.5	0.6
Pastos Plano	0.1	0.3	0.4
Pastos Ondulado	0.16	0.36	0.55
Pastos Montañoso	0.22	0.42	0.6
Tierras cultivadas Plano	0.3	0.5	0.6
Tierras cultivadas Ondulado	0.4	0.6	0.7
Tierras cultivadas Montañoso	0.52	0.72	0.82

Fuente: Adaptado de: INVIAS, Manual para el drenaje de carreteras, tabla. 2.10.

Tabla 16/ Valores de coeficientes de escorrentía en áreas urbanas.

Tipo de área de drenaje	Coeficiente C
RESIDENCIAL	
Casas individuales separadas	0,30 – 0,50
Casas multifamiliares separadas	0,40 – 0,60
Casas multifamiliares unidas	0,60 – 0,75
Suburbana	0,25 – 0,40
Áreas de apartamentos de vivienda	0,50 – 0,70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0,50 – 0,80
Áreas pesadas	0,60 – 0,90
OTRAS ÁREAS	
Parques cementerios	0,10 – 0,25
Campos de juegos	0,20 – 0,35
Áreas de patios de ferrocarriles	0,20 – 0,40
Áreas no desarrolladas	0,10 – 0,30
Techos	0,75 – 0,95
CALLES	
Asfaltadas	0,70 – 0,95
Concreto	0,80 – 0,95
Ladrillo	0,70 – 0,85
Calzadas y alamedas	0,75 – 0,85

Fuente: Adaptado de: INVIAS, Manual para el drenaje de carreteras, tabla. 2.9.

Teniendo en cuenta los parámetros explicados anteriormente como las características y uso del suelo y las condiciones topográficas, se presenta la siguiente tabla con el coeficiente de escorrentía característico para la cuenca.

Tabla 17/ Valor de coeficiente de escorrentía ponderado.

Pendiente	Cobertura	Textura	Area (ha)	Coef C	Area*C	Coef C Ponderado
Plano (0-5%)	Bosque	Franco limo arcilloso	0.029	0.300	0.009	**0.463**
Plano (0-5%)	Vegetación baja	Franco limo arcilloso	0.056	0.300	0.017	
Plano (0-5%)	Áreas impermeables	Franco limo arcilloso	0.006	0.750	0.005	
Ondulado (5-10%)	Bosque	Franco limo arcilloso	0.081	0.350	0.028	
Ondulado (5-10%)	Vegetación baja	Franco limo arcilloso	0.298	0.360	0.107	
Ondulado (5-10%)	Áreas impermeables	Franco limo arcilloso	0.005	0.850	0.004	
Montañoso (10-30%)	Bosque	Franco limo arcilloso	6.09	0.500	3.045	
Montañoso (10-30%)	Vegetación baja	Franco limo arcilloso	14.869	0.420	6.245	
Montañoso (10-30%)	Suelo desnudo	Franco limo arcilloso	0	0.720	0	
Montañoso (10-30%)	Edificaciones	Franco limo arcilloso	0.02	0.950	0.019	
Montañoso (10-30%)	Áreas impermeables	Franco limo arcilloso	0.511	0.950	0.485	
Escarpado (>30%)	Bosque	Franco limo arcilloso	21.789	0.500	10.895	
Escarpado (>30%)	Vegetación baja	Franco limo arcilloso	20.408	0.420	8.571	
Escarpado (>30%)	Áreas impermeables	Franco limo arcilloso	0.562	0.950	0.534	

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.3 Tiempo de concentración

Se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de la misma[1].

Dado que el tiempo de concentración guarda una relación inversa con la intensidad de precipitación, y con el fin de adoptar un criterio conservador en el diseño, se recomienda emplear la formulación de Kirpich, la cual tiende a estimar tiempos de concentración menores. La ecuación de Kirpich se expresa como:

Ecuación 2. Tiempo de concentración, ecuación Kirpich

$$Tc = 0.06628 \cdot \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.77}$$

[1] INVIAS, Manual para el drenaje de carreteras, pág. 2 – 2.

Fuente: INVIAS, Manual para el drenaje de carreteras, pág. 2 – 2.

Dónde: Tc: 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).

Para el diseño de las obras de drenaje, cuando el tiempo de concentración calculado (Tc) sea inferior a 15 minutos, se adoptará un Tc mínimo de 15 minutos. Esta consideración permite incorporar el tiempo inicial requerido para que el escurrimiento se organice y se concentre dentro de la hoya, evitando así sobreestimar la intensidad de precipitación que se obtendría al emplear tiempos de concentración menores a dicho umbral.

4.1.3.4 Intensidad de precipitación

La intensidad de lluvia de diseño se estimará a partir de las curvas IDF disponibles para el área del proyecto, considerando como variables de entrada el tipo de estructura, el período de retorno y el tiempo de concentración correspondiente. Debido a que el área aportante es reducida (A < 2,50 km^2), se asume una precipitación espacialmente uniforme sobre la cuenca y, en consecuencia, no se incorporan ajustes por variación real. En este sentido, se adoptan las intensidades puntuales que se leen directamente de las curvas IDF.

INGEOTECK

Tabla 18. Intensidad de precipitación por drenaje.

TRAMO	ABSCISA / UBICACIÓN	TIPO DE OBRA EXISTENTE	ÁREA (ha)	Tc (min)	Período retorno TR (años)	Intensidad (mm/h)
1.0	PR 0+038.0	BOXCULVERT bxh=1.8x2.0m	64.27	15	20	83.07

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.5 Caudal máximo

Aplicando el método racional y empleando los parámetros determinados en los numerales anteriores se estiman los caudales máximos de diseño para las condiciones y períodos de retorno adoptados. En consecuencia, se obtienen los siguientes caudales, los cuales sirven como base para el dimensionamiento y la verificación hidráulica de las obras de drenaje propuestas.

Tabla 19. Caudal máximo de diseño

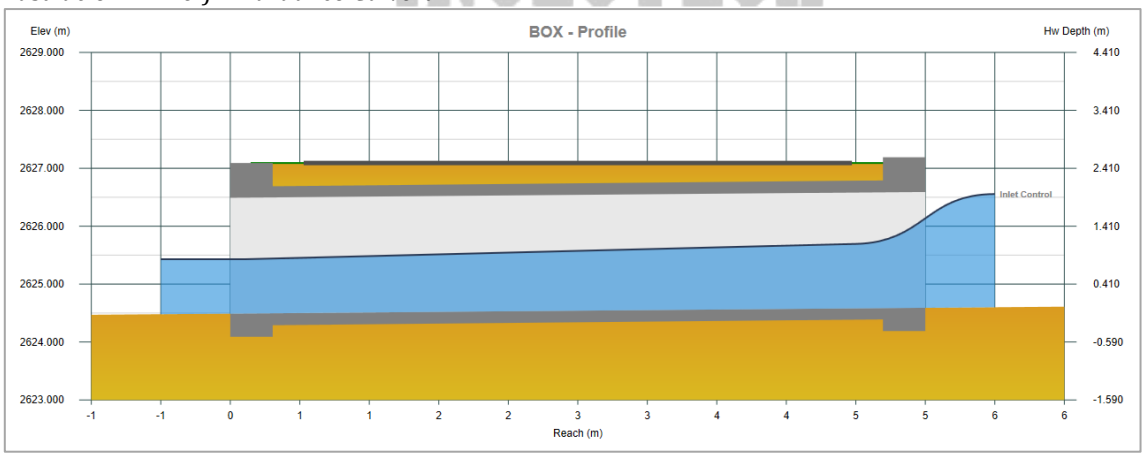
TR	ABS.	Tipo de obra existente	ÁREA (ha)	Tc (min)	Período retorno TR (años)	I (mm/h)	Coef. C	Caudal Q (l/s)	Caudal Q (m^3/s)
1.0	PR 0+038.0	BOXCULVERT bxh=1.8x2.0m	64.27	15	20	83.07	0.46	6866.43	6.87

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 EVALUACION HIDRAULICA DRENAJE EXISTENTE

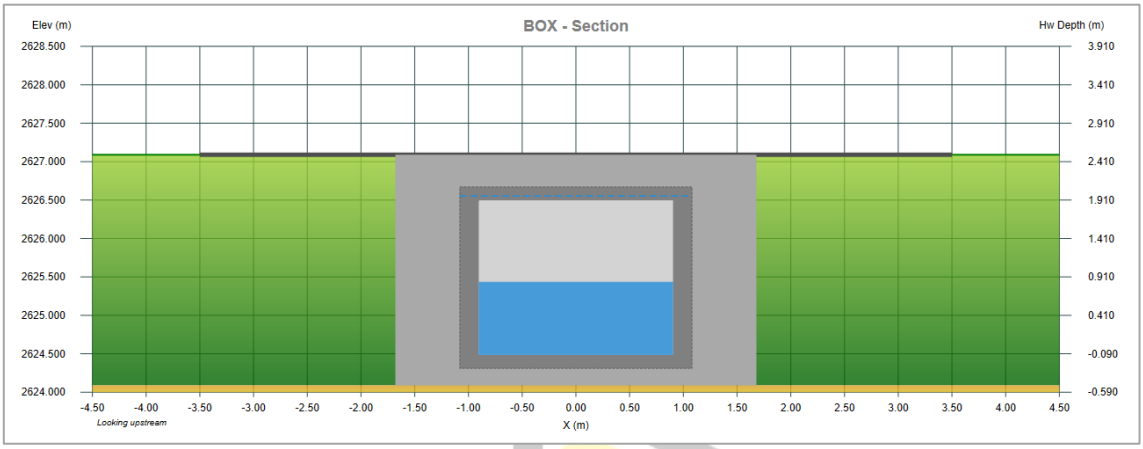
La evaluación hidráulica del drenaje existente se realiza con el propósito de verificar el comportamiento hidráulico de la estructura actual frente a los caudales de diseño obtenidos en el análisis hidrológico, así como su capacidad para conducir de manera segura los caudales asociados al período de retorno adoptado. Para ello, se analizan las condiciones geométricas y constructivas de la obra existente, el régimen de flujo, los niveles de lámina de agua, el tirante y la relación entre el nivel de agua y la altura útil de la estructura, con el fin de identificar posibles condiciones desfavorables como insuficiencia hidráulica, riesgo de sobrecarga, pérdida de capacidad o afectaciones aguas arriba y aguas abajo. Esta verificación se desarrolla mediante el software Culvert Studio, a partir de la modelación de la estructura y de las condiciones hidráulicas de entrada y salida, permitiendo estimar los parámetros de operación y los niveles asociados al evento de diseño. A continuación, se presentan los resultados obtenidos y su interpretación en el marco del funcionamiento hidráulico de la obra evaluada.

Ilustración 12. Perfil hidráulico Culvert.



Fuente: Culvert Studio.

Ilustración 13. Sección hidraulica Culvert.



Fuente: Culvert Studio.

Tabla 20. Resultados Culvert Relación Hw/D.

DISCHARGE	DISCHARGE	VELOCITY	VELOCITY	DEPTH	DEPTH	HGL	HGL	HGL	HGL
Total	Pipe	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Hw	Hw/D
(cms)	(cms)	(m/s)	(m/s)	(mm)	(mm)	(m)	(m)	(m)	
6.80	6.80	0.00	0.00	4.02	3.33	2625.43	2625.72	2626.56	0.982
6.81	6.81	0.00	0.00	4.03	3.34	2625.43	2625.73	2626.56	0.983
6.82	6.82	0.00	0.00	4.03	3.34	2625.43	2625.73	2626.56	0.984
6.83	6.83	0.00	0.00	4.04	3.34	2625.43	2625.73	2626.56	0.985
6.84	6.84	0.00	0.00	4.00	3.34	2625.44	2625.73	2626.56	0.986
6.85	6.85	0.00	0.00	4.01	3.34	2625.44	2625.73	2626.57	0.987
6.86	6.86	0.00	0.00	4.01	3.34	2625.44	2625.73	2626.57	0.988
6.87	6.87	0.00	0.00	4.02	3.35	2625.44	2625.73	2626.57	0.989

Fuente: Elaboración propia.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

Con base en los resultados obtenidos mediante la modelación hidráulica, se evaluó el comportamiento de la estructura de drenaje tipo box existente frente al caudal máximo de diseño Q = 6.87 m^3/s, correspondiente al período de retorno adoptado en el estudio hidrológico. De acuerdo con los valores reportados en la Tabla 18, para dicho caudal se obtiene una relación Hw/D ≈ 0.989, la cual se mantiene por debajo de la unidad.

Este valor cumple con los criterios establecidos en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVÍAS, el cual recomienda que, para condiciones de operación hidráulica aceptables, la relación entre la altura de la lámina de agua de entrada y la altura útil de la estructura (Hw/D) sea menor o igual a 1.0, admitiéndose valores de hasta 1.2 en condiciones hidráulicas particulares o críticas, siempre que no se generen afectaciones aguas arriba ni condiciones de sobrecarga.

Los perfiles hidráulicos longitudinal y transversal evidencian que el flujo se desarrolla completamente dentro de la sección de la estructura, sin presentarse régimen presurizado ni rebose, y con niveles hidráulicos consistentes entre la entrada y la salida. Asimismo, los niveles de energía y tirantes calculados confirman que la capacidad hidráulica de la obra es suficiente para evacuar el caudal de diseño bajo condiciones de operación estable.

En consecuencia, desde el punto de vista hidráulico, la estructura presenta un comportamiento compatible con el evento analizado y cumple con la verificación de capacidad para el caudal de diseño. No obstante, de acuerdo con la inspección visual en campo, se evidencian deterioros en los elementos de concreto y condiciones que sugieren posible afectación por humedad, erosión y/o pérdida de material en la zona inferior, así como presencia de vegetación y acumulación de sedimentos que pueden comprometer su funcionamiento y durabilidad. Por lo anterior, se considera indispensable realizar una revisión estructural y patológica de la obra (integridad de losa, muros, aletas y apoyos), incluyendo verificación de socavación/soporte en cimentación, evaluación de fisuras o desprendimientos, y definición de las medidas de rehabilitación y mantenimiento que correspondan (limpieza, control de vegetación, reparación de concreto, protección superficial y estabilización del entorno inmediato), con el fin de garantizar su estabilidad y vida útil.

Tabla 21. Evaluación hidráulica obras existentes.

TR	ABS.	Obra	Long. (m)	Pendiente (%)	Q (m^3/s)	Hw/D	CUMPLE	OBS.
1	PR 0+038.0	BOXCULVERT bxh=1.8x2.0m	5	2	6.87	0.989	SI	Cumple hidráulicamente. Requiere revisión estructural.

Fuente: Elaboración propia.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

5. DISEÑO HIDRÁULICO CUNETAS

Como se comentó en la evaluación hidráulica, se propone una cuneta vial y un dren longitudinal; en los siguientes numerales se muestra su metodología, cálculos y resultados.

5.1 CUNETA Y SECCIÓN VIAL

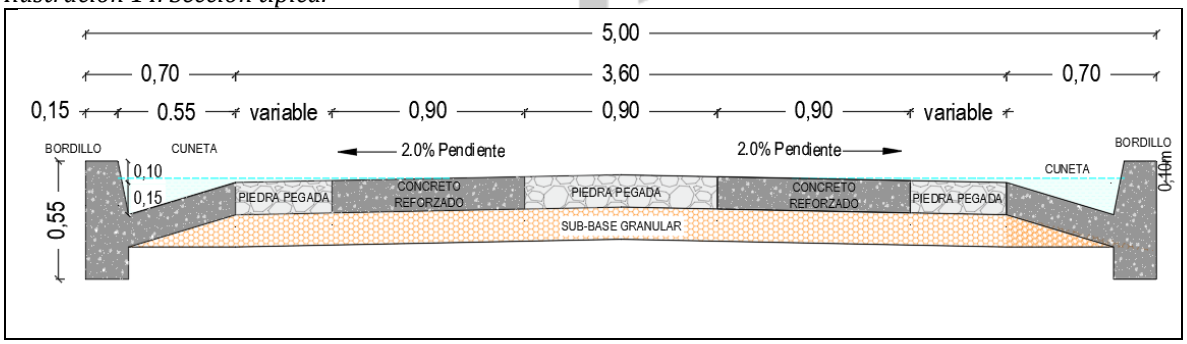
Las cunetas son las depresiones en los extremos de las vías, calles o calzadas que recogen la escorrentía pluvial que drena a éstas.

Para nuestro caso partimos de la hipótesis de que las vías cuentan como mínimo con un bombeo del 2%, la cuneta tipo tiene una pendiente del 28.30% funciona como un canal hidráulico que transportará las aguas hasta las alcantarillas.

Esta cuneta cumple con la pendiente máxima recomendable por el Manual de Drenaje para Carreteras 2009 del INVIAS en su numeral "4.2.3 Tipos de sección y seguridad vial".

Para este proyecto se plantea el siguiente tipo de sección transversal por tramo:

Ilustración 14. Sección típica.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Estimación caudal de diseño

Teniendo presente que el caudal estará compuesto por las aguas escorrentías provenientes de la calzada y del talud, se plantean las siguientes hipótesis y parámetros.

- Ancho carril: 1.8 m
- Ancho talud de corte / superior más ladera: 50.0 m

Tomando de referencia los coeficientes de escorrentía del método racional:

- Superficies en concreto y cubiertas: C = 0.90
- Zona de talud de corte y ladera: C = 0.46

Realizando el ponderado por áreas se tienen un C de 0.48. Aplicando la metodología racional se obtienen los siguientes caudales.

Tabla 22. Estimación de caudales máximos cunetas.

LONGITUD (m)	ANCHO CARRIL (m)	ANCHO TALUD DE CORTE SUPERIOR MÁS LADERA (m)	Coef. C CALZADA	Coef. C TALUD DE CORTE SUPERIOR MÁS LADERA	ÁREA (ha)	Coef. C	Tc (min)	Período de retorno TR (años)	Intensidad, I (mm/h)	Caudal Q (l/s)
50	1.8	50	0.9	0.46	0.26	0.48	15	5	64.73	22.27
100	1.8	50	0.9	0.46	0.52	0.48	15	5	64.73	44.54
150	1.8	50	0.9	0.46	0.78	0.48	15	5	64.73	66.81

Fuente: Elaboración propia.

Las anteriores serán las distancias a considerar como longitudes máximas de las cunetas.

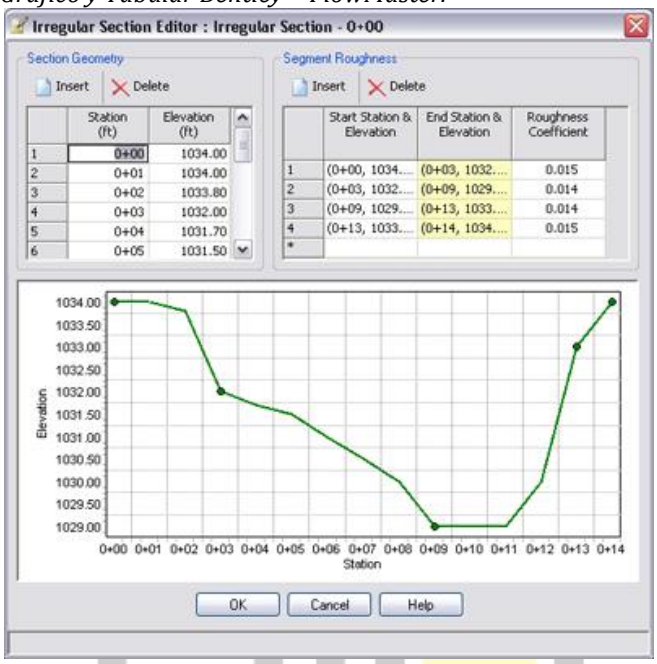
5.1.2 Presentación del software de cálculo hidráulico de apoyo

El software empleado para la modelación hidráulica de las cunetas fue le programa Bentley FlowMaster; programa muy potente e ideal para este tipo de cálculos. FlowMaster es un paquete computacional de la empresa Bentley Systems, Incorporated; sirve para realizar rápidamente cálculos hidráulicos para docenas de tipos de elementos, desde tuberías, canales abiertos y hasta para sumideros y presas.

5.1.2.1 Hidráulica de canales abiertos – Bentley FlowMaster

Diseño y análisis de canales, diques, y tuberías a superficie libre de cualquier forma incluyendo box, circular, elíptica, parabólica y canales irregulares. Bajo flujo uniforme encuentra el caudal, la profundidad normal, las dimensiones del canal, la pendiente, o la rugosidad, y compara los resultados utilizando diferentes métodos de fricción. Lleva a cabo cálculos de flujo gradualmente variado de cualquier elemento a superficie libre, generar vistas de perfil de los resultados obtenidos, y también permite ver los cálculos en forma de tabla.

Ilustración 15. Reporte Gráfico y Tabular Bentley - FlowMaster.

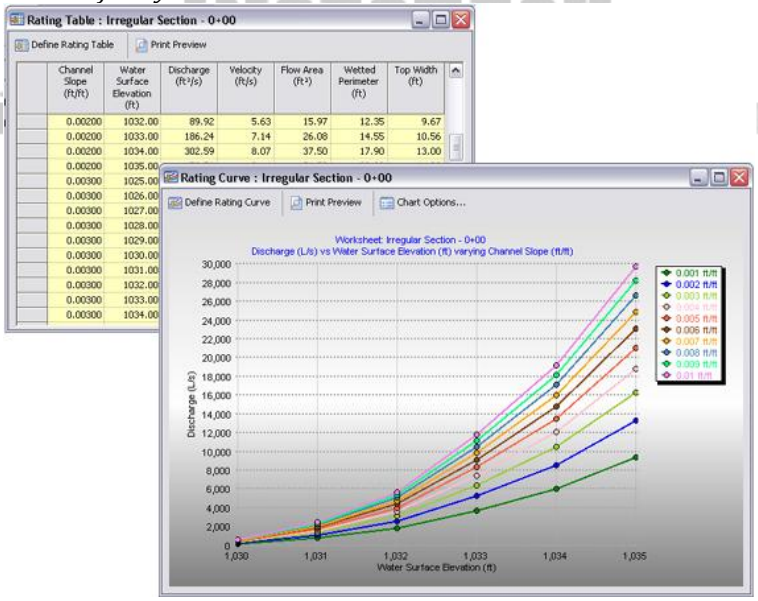


Fuente: Bentley Systems, Incorporated.

5.1.2.2 Gráfica e informes – Bentley FlowMaster

Utilizando las capacidades de elaboración de informes de FlowMaster, se puede crear rápidamente informes de resumen o un registro completo de su análisis y diseño.

Ilustración 16. Informes Gráficos y Tabulares Personalizados – FlowMaster.



Fuente: Bentley Systems, Incorporated.

Tiene la facilidad de generar informes tabulares personalizados, gráficos, diagramas de corte transversal, curvas de rendimiento, y las tablas de calificación para apoyar la toma de decisiones más inteligentes.

5.1.3 Cuneta vial

Las cunetas son las depresiones en los extremos de las vías, calles o calzadas que recogen la escorrentía pluvial que drena a éstas. Para nuestro caso partimos de la hipótesis de que las vías cuentan como mínimo con un bombeo del 2%.

Esta cuneta es la que permitirá la evacuación de las aguas de escorrentía que caen sobre la calzada diseñada.

5.1.3.1 Metodología del cálculo hidráulico de la cuneta

La capacidad de una cuneta depende de su forma, pendiente y rugosidad. La cuneta implementada es de geometría triangular; por tanto, puede modelarse como un canal abierto de sección triangular y su capacidad hidráulica puede estimarse con la fórmula de Manning de flujo uniforme. Ésta ha sido usualmente representada mediante el nomograma de Izzard representado en la

Ecuación 3.

Ecuación 3. Caudal de la cuneta - Izzard

$$Q = 0.375 \cdot Y_0^{\frac{8}{3}} \cdot (Z/n) \cdot S_0^{1/2}$$

Fuente: RAS 2.000.

Donde:

Q = caudal (m^3/s)
Y_0 = mayor profundidad de flujo (m)
Z = pendiente transversal
S_0 = pendiente longitudinal
n = coeficiente de rugosidad de Manning

En la siguiente tabla se presentan algunos de los valores adoptados del coeficiente de Manning para las superficies más típicas.

Tabla 23. Coeficientes de escorrentía, según tipos de vía.

TIPO DE SUPERFICIE	
Cuneta de concreto con un buen acabado	0.012
Pavimento asfáltico	-Textura lisa = 0.013
	-Textura áspera = 0.016
Cuneta de concreto con pavimento asfáltico	-Textura lisa = 0.013
	-Textura áspera = 0.015
Cuneta de concreto con pavimento asfáltico	-Acabado con plancha = 0.014
	-Acabado manual fino = 0.016
	-Acabado manual áspero = 0.020

Fuente: RAS 2.000.

Para este estudio el valor del coeficiente de Manning "n" adoptado corresponde al de una cuneta de concreto hidráulico con pavimento articulado, dando un coeficiente de rugosidad de 0.014. Se calculó el caudal de escurrimiento por el método racional debido a los tamaños de áreas tributarias.

La intensidad de lluvia correspondiente a tiempo de concentración de 15 minutos (Tc mínimo recomendado para este tipo de estudios) y período de retorno de 5 años de las curvas IDF de la estación IDEAM seleccionada como representativa para la zona del proyecto.

Tabla 24. Parámetros de diseño cuneta vial.

DATOS CUNETA VIAL	
Período de retorno	5 años
Tiempo de concentración inicial	15 minutos
Pendiente longitudinal	22.82%
Pendiente transversal vía	2%
Pendiente transversal cuneta	27.27%
Material	Concreto
Coeficiente de Manning	0.014

Fuente: Elaboración propia.

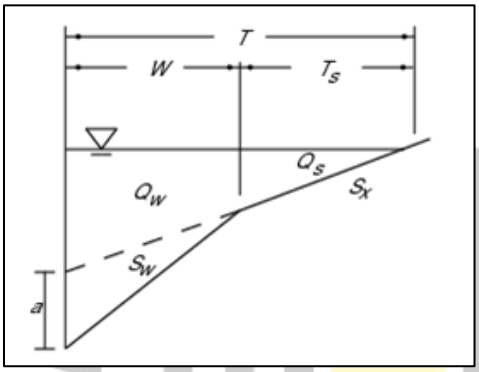
Para el análisis hidráulico de las cunetas, se adoptó como criterio el que su capacidad fuera suficiente para evacuar los caudales aportados por la vía y por las zonas aledañas que drenan hacia ella, para una lluvia con un período de retorno de 5 años.

Estos parámetros de diseño como el período de retorno, el tiempo de concentración inicial, el coeficiente de escorrentía y las curvas IDF se describieron en los numerales

anteriores. Los parámetros como la pendiente longitudinal son obtenidos directamente de la topografía de la zona.

Según estos parámetros, la cuneta se modeló para las condiciones más críticas de caudal y pendiente. La pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento de las cunetas debe ser de cero puntos tres por ciento (0.3%) como pendiente mínima deseable según el INVIAS[2]. La sección de la cuneta establecida corresponde al siguiente esquema:

Ilustración 17. Hidráulica Cuneta.



Fuente: Bases teóricas Software Bentley FlowMaster, Bentley Systems, Incorporated.

Donde:

Sx: Pendiente transversal de la vía.

Sw: Pendiente transversal de la cuneta.

W: Ancho de la cuneta.

Ts: Ancho de vía inundado.

T: Ancho libre.

a: Depresión de la cuneta según la proyección del carril.

Qw: Caudal sobre la cuneta.

Qs: Caudal desbordado a la vía.

Los datos de partida son:

Sx: Pendiente transversal de la vía.

Sw: Pendiente transversal de la cuneta.

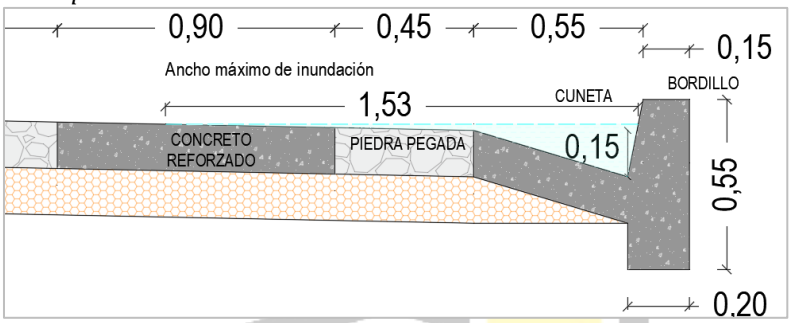
W: Ancho de la cuneta.

[2] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Op. cit., p. 127.

5.1.3.2 Cálculo hidráulico de la cuneta

El cálculo hidráulico de la cuneta se realiza suponiendo que la zona inundable es la cuneta y parte de la calzada. Los anchos de inundación admisibles deben ser los establecidos en la siguiente tabla.

Ilustración 18. Cuneta tipo.



Fuente: Sección tomada del plano de diseño geométrico.

Tabla 25. Ancho de Inundación admisible según clasificación de la vía.

Ancho de la vía (m)	Ancho de inundación admisible (m)
< 6	2.0
≥ 6 y < 7	3.0
≥ 7 y < 9	3.5
≥ 9	4.0
**Nota: Si el bombeo es a los dos costados de la vía el ancho de inundación admisible deberá dividirse en dos (2).	

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Resolución 0330 de 2017 Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS.

Realizando la modelación en el programa Bentley FlowMaster de la empresa Bentley System, Inc. se obtuvieron los siguientes resultados.

- Hipótesis 1. Únicamente trabaja la cuneta.

Tabla 26. Cálculos hidráulicos cuneta vial - Hipótesis 1.

HIDRÁULICA CUNETA VIAL	
Pendiente longitudinal crítica (%)	22.82
Caudal (L/s)	271.29
Ancho cuneta (m)	0.55
Pendiente cuneta (%)	27.27
Pendiente transversal vía (%)	2.0
Ancho libre (m)	0.53

HIDRÁULICA CUNETA VIAL	
Manning, n	0.014
Área mojada (m^2)	0.04
Profundidad hidráulica (m)	0.14
Depresión de la cuneta (m)	0.14
Velocidad (m/s)	7.08

Fuente: Elaboración propia.

- Hipótesis 2. Trabaja la cuneta y media calzada.

Tabla 27. Cálculos hidráulicos cuneta vial - Hipótesis 2.

HIDRÁULICA CUNETA VIAL	
Pendiente longitudinal crítica (%)	22.82
Caudal (L/s)	432.14
Ancho cuenta (m)	0.55
Pendiente cuneta (%)	27.27
Pendiente transversal vía (%)	2.0
Ancho libre (m)	1.53
Manning, n	0.014
Área mojada (m^2)	0.06
Profundidad hidráulica (m)	0.17
Depresión de la cuneta (m)	0.14
Velocidad (m/s)	7.01

Fuente: Elaboración propia.

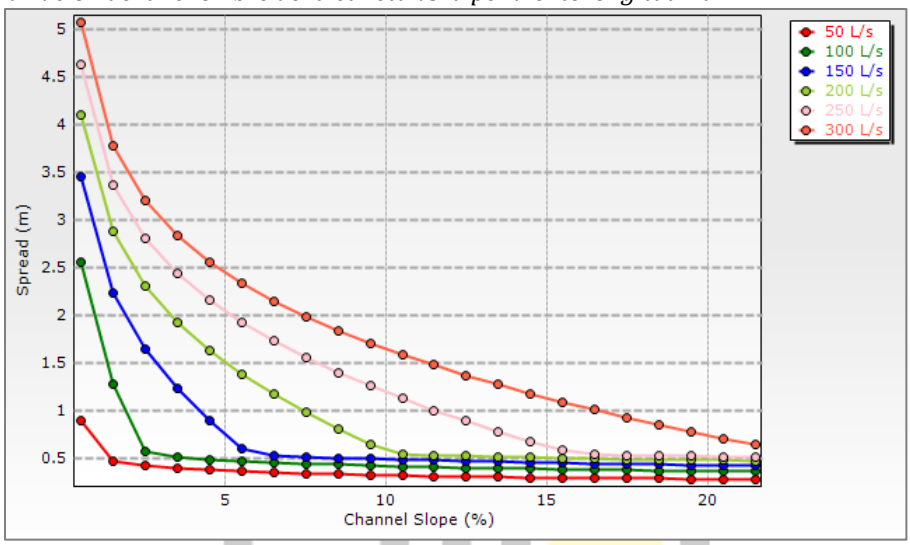
INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

Como observamos, considerando únicamente un ancho libre de inundación igual al de la cuneta, se obtiene un caudal de 271 L/s y considerando el ancho máximo admisible de inundación de la media calzada el caudal es 432 L/s, ambas hipótesis considerando una pendiente crítica de 22.82 %, tomada de los planos de diseño geométrico vial; por lo tanto se considera que la sección de la cuneta es capaz de evacuar las aguas de escorrentía para el período de retorno seleccionado con la pendiente más crítica sin desbordarse sobre la vía, gracias a las altas pendientes que posee la vía.

Se recomienda limpiar periódicamente las cuentas implementadas en zonas planas (<1%), para evitar la acumulación de sedimentos, y proyectar pendientes longitudinales entre drenajes de mínimo 0.5% para asegurar un adecuado drenaje de las cunetas.

El comportamiento del ancho libre de la cuneta con una variación de la pendiente longitudinal y variación de caudal, son los siguientes:

Gráfica 11. Variación del ancho libre de la cuneta vs la pendiente longitudinal.

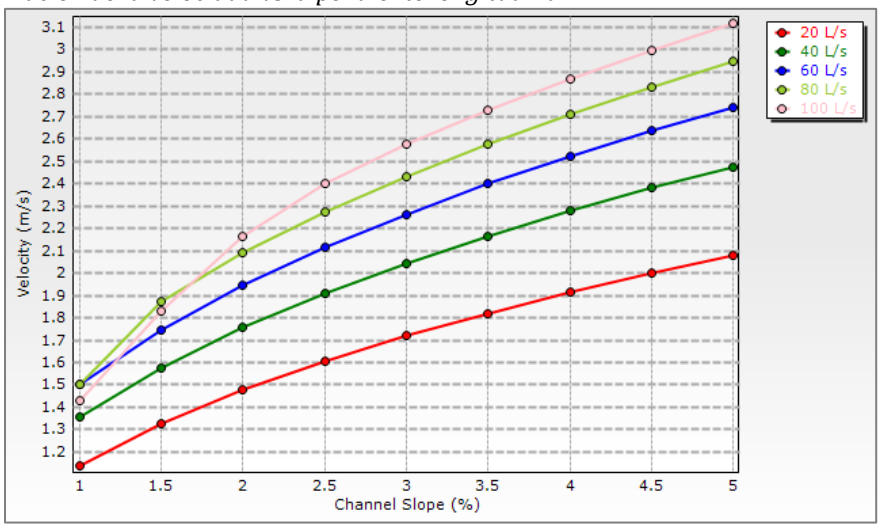


Spread (m): Ancho libre Channel Slope (%): Pendiente longitudinal (%)

Revisados los caudales de los diferentes tramos, se pudo establecer que estas cumplen la capacidad hidráulica, más aún, teniendo en cuenta que las altas pendientes generalizadas del corredor en estudio.

El comportamiento de la velocidad con una variación de la pendiente longitudinal y una variación de caudales, es la siguiente:

Gráfica 12. Variación de la velocidad vs la pendiente longitudinal.

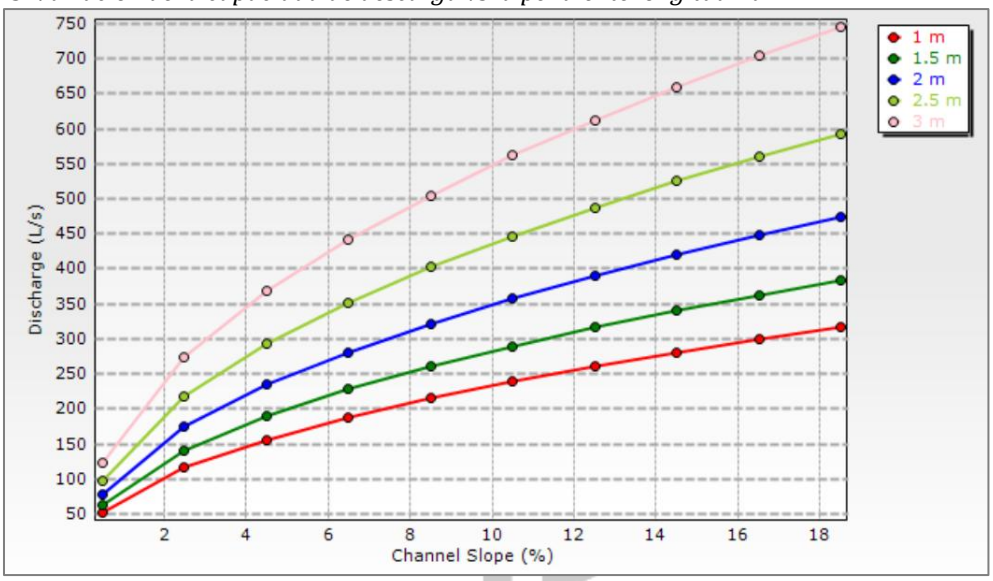


Velocity (m/s): Velocidad (m/s) Channel Slope (%): Pendiente longitudinal (%)

De la Figura anterior, velocidades contra pendiente, se deduce que las velocidades están por debajo del valor máximo que define el Artículo 152 de la Resolución número 0330 de 2017[3].

El comportamiento de la capacidad de descarga de las cunetas variando la pendiente longitudinal y el ancho libre, es el siguiente:

Gráfica 13. *Variación de la capacidad de descarga vs la pendiente longitudinal.*



Discharge (L/s): Discharge (L/s) Channel Slope (%): Pendiente longitudinal (%)

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

[3] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Resolución número 0330 de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las Resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005y 2320 de 2009. Artículo 152.

6. CANTIDADES

Este capítulo tiene como finalidad dar a conocer de forma discriminada las obras de drenaje a implementarse.

6.1 RESUMEN DE CANTIDADES

En la siguiente tabla se dan a conocer las cantidades finales por tramo.

Tabla 28*. Resumen de cantidades por tramo.*

ÍTEM	DIMENSIÓN	Unidad	Cantidad
LIMPIEZA BOXCULVERT (3.11.06 – 2025)	-	UND	1.0

Fuente: Elaboración propia.

La ubicación de las alcantarillas y demás obras hidráulicas se puede apreciar de manera espacial en los planos de diseño geométrico vial.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en la metodología aplicada y en los resultados obtenidos, se concluye que la obra de drenaje transversal existente (box culvert) presenta capacidad hidráulica suficiente para atender los requerimientos de drenaje vial del tramo analizado, por lo cual no se requiere la proyección de una nueva obra de drenaje transversal dentro del alcance del proyecto.

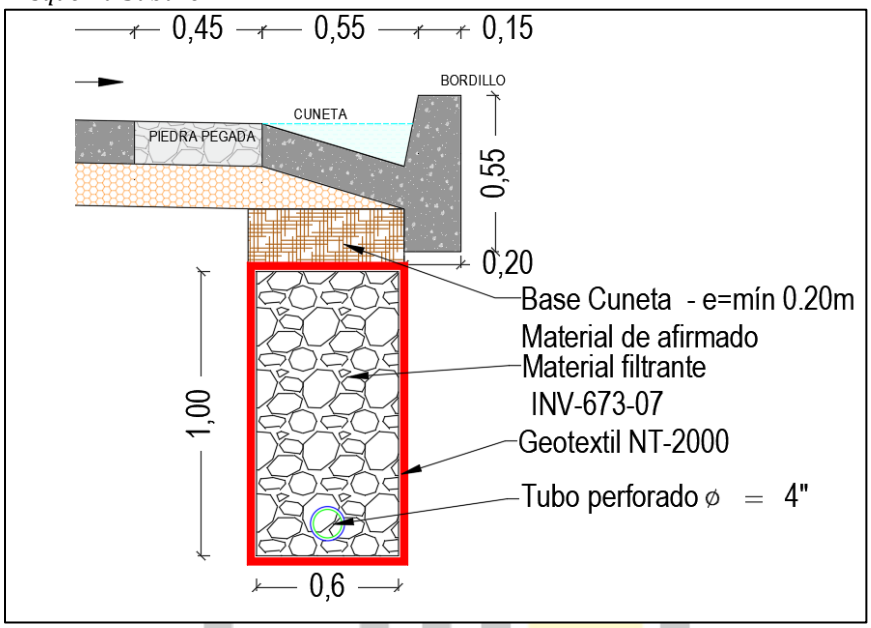
Sin perjuicio de lo anterior, se recomienda que el box culvert existente sea objeto de limpieza e inspección, y que se realice una revisión estructural conforme a los criterios y procedimientos establecidos para este tipo de estructuras, con el fin de confirmar su condición y asegurar su operación adecuada.

La cuneta vial propuesta cumple con las recomendaciones del INVIAS en cuanto a capacidad hidráulica y criterios de seguridad vial, al permitir la adecuada recolección y conducción de las aguas de escorrentía generadas sobre la placahuella y las áreas laterales de la vía, favoreciendo la evacuación controlada de los caudales y reduciendo el riesgo de acumulación de agua y afectaciones a la estructura.

Adicionalmente, se recomienda la implementación del filtro longitudinal (subdren tipo filtro) a lo largo del tramo proyectado, conforme al esquema y dimensiones definidas en el diseño (sección de referencia 0.60 m × 1.00 m, con material filtrante y geotextil, y tubo perforado en la base). Esta solución se considera determinante para controlar el flujo de infiltración proveniente de aportes laterales y la eventual presencia de humedad subterránea, evitando la saturación de la subrasante/subbase, la pérdida de capacidad de soporte, el bombeo de finos y el deterioro prematuro de la placa huella y sus elementos de confinamiento. Considerando que el box culvert se ubica dentro del tramo y que existe un segmento aguas abajo sin obra de descarga inmediata, se deberá garantizar la continuidad hidráulica del filtro hasta un punto de entrega/descarga funcional aguas abajo, el cual deberá definirse y verificarse en coordinación con el diseño y la ejecución en campo, asegurando condiciones de salida estables.

INGEOTECK Diseño Construcción e Ingeniería

Ilustración 19. *Esquema Subdren.*



Fuente: Elaboración propia.

Cordialmente,

Ing. Esp. Julian Alexis Montaña Plazas

MP 01123 - 11285

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería

BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. Bogotá D.C.: INVIAS, 2008.

Manual de drenaje para carreteras. Bogotá D.C.: INVIAS, 2009.

REYES TRUJILLO, Aldemar, ULISES BARRIOS, Fabián y CARVAJAL ESCOBAR, Yesid. Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas. Colección: Ciencias naturales y exactas. Primera edición. Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2010.

VARGAS MR., DÍAZ GRANADOS O.M. Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. Santafé de Bogotá: Universidad de los Andes, 1998.

INGEOTECK
Diseño Construcción e Ingeniería