ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION DE TREINTA BOX CULVERT EN EL MUNICIPIO DE LOS CORDOBAS

INGENIERIA CIVIL

ESTUDIOS HIDROLOGICOS Y DISEÑOS HIDRAULICOS PARA BOXES CULVERTS EN EL MUNICIPIO DE LOS CORDOBAS (LOS CÓRDOBAS, CÓRDOBA)

INFORME TÉCNICO

VERSIÓN No. 1.

CONSULTOR:

KEYBER ANDRES GONZALEZ SOSA

Ingeniero Civil – Especialista en agua potable y saneamiento básico

M.P. 13202-248217

CONTRATANTE:

MUNICIPIO DE LOS CÓRDOBAS

MONTERIA • CÓRDOBA • COLOMBIA

SEPTIEMBRE DE 2025

EQUIPO DE TRABAJO DE LA CONSULTORÍA

Diseñó:

Keyber Andrés Gonzalez Sosa	Ingeniero Civil MP: 13202-248217

Elaboración de planos:

Keyber Andrés Gonzalez Sosa	Ingeniero Civil

REGISTRO DE MODIFICACIONES

Revisión		Descripción de las modificaciones
No.	**Fecha**	
1	08.09.2025	Primera entrega para revisión

REGISTRO DE APROBACIÓN

Presentado por:

KEYBER ANDRES GONZALEZ SOSA	INGENIERO CIVIL

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 5
2 OBJETIVOS, ALCANCES Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO 6
2.1 OBJETIVO 6
2.2 ALCANCES 6
2.3 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO 6
3 INFORMACIÓN BASE 8
4 CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA DEL PROYECTO 9
4.1 PRECIPITACIÓN 9
4.2 TEMPERATURA 11
4.3 HUMEDAD RELATIVA 12
4.4 BRILLO SOLAR 13
4.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN 14
5 ESTUDIO HIDROLÓGICO 16
5.1 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE 16
5.2 METODOLOGÍA 16
5.3 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS 16
5.4 ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN 19
5.5 ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS PRECIPITACIONES EN LA ZONA DE ESTUDIO 20
5.6 ESTIMACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA 22
5.7 CALCULO DE CAUDALES POR EL METODO RACIONAL 25
5.8 HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN – MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO 25
5.9 ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA 26
5.10 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS CON HEC-HMS 28
5.11 PERIODO DE RETORNO (TR) DE DISEÑO 30
6 DISEÑO HIDRÁULICO DE BOX CULVERT 31
6.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO – USO DEL SOFTWARE HY-8 31
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 34
8 REFERENCIAS 35

LISTADO DE TABLAS

Tabla 4-1. Resumen de periodos de registros de las variables climatologías analizadas.....9
Tabla 4-2. Tipo de mes según coeficiente pluviométrico. 11
Tabla 5-1. Parámetros morfométricos generales. 17
Tabla 5-2. Parámetros asociados a la forma de la cuenca. 18
Tabla 5-3. Parámetros asociados a la red de drenaje de la cuenca. 18
Tabla 5-4. Parámetros asociados al relieve de la cuenca.....19
Tabla 5-5. Tiempo de concentración y de retardo para la cuenca delimitada. 20
Tabla 5-6. Resumen de periodos de registros de las variables climatologías analizadas.....20
Tabla 5-7. Precipitaciones máximas en 24 horas. ESTACIÓN CANALETE [12040020].....20
Tabla 5-8. Valores de Kn para la prueba de datos dudosos. 21
Tabla 5-9. Coeficientes de regresión - Curvas IDF regionalizadas. 23
Tabla 5-10. Intensidades de lluvia por el método simplificado. 23
Tabla 5-11. Número de curva para otras tierras agrícolas con condiciones de humedad antecedentes promedio AMC II. 28
Tabla 5-12. Caudales Máximos o picos – Cuenca Tributario A La Quebrada Las Tinas 29
Tabla 5-13. Periodos de retorno. Resolución 0330 de 2017. 30
Tabla 6-1. Resultados de evaluación hidráulica del Box Culvert Nuevo Nariño.....33
Tabla 6-2. Resultados de evaluación hidráulica del Box Culvert Vía de Acceso Etapa I con HY8. Continuación. 33

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2-1. Localización del municipio de Los Córdobas. 7
Figura 4-1. Estaciones hidrometeorológicas para el análisis de las precipitaciones. 9
Figura 5-1. Cuenca Cauce Tributario a la Quebrada Las Tinas. 17
Figura 6-1. Datos de calibración en HY-8. Box Culvert Nuevo Nariño. 31
Figura 6-2. Elevación de lámina de agua. Box Culvert Nuevo Nariño. 32
Figura 6-3. Elevación de lámina de agua en la sección del Box Culvert Nuevo Nariño. 32

LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 4-1. Coeficiente pluviométrico mensual. 10
Gráfica 4-2. Temperatura media, mínima y máxima de la zona de estudio - Estación PUERTO ESCONDIDO [12045020]. 12
Gráfica 4-3. Humedad Relativa Mensual Multianual - Estación PUERTO ESCONDIDO [12045020]. 13
Gráfica 4-4. Brillo Solar Mensual Multianual - Estación MONTERÍA [13075050]. 14
Gráfica 4-5. Evapotranspiración. 15
Gráfica 5-1. Resultados de análisis de datos dudosos (outliers). 22
Gráfica 5-2. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia a partir de precipitaciones de. 24
Gráfica 5-3. Hietogramas de precipitación. Cuenca Tributario Arroyo Angola. 26
Gráfica 5-4. Hidrogramas de escorrentía para la Cuenca Tributario A La Quebrada Las Tinas. 30

1 INTRODUCCIÓN

La alcaldía municipal de Los Córdobas, en cumplimiento de sus funciones, ha identificado la problemática que viene presentando el municipio con respecto al estado de las vías terciarias del municipio, lo que impacta directamente sobre la calidad de vida de sus habitantes teniendo en cuenta que el mal estado de las vías afecta también la economía del municipio considerando que una de sus principales actividades económicas es el desarrollo de la agricultura. Por tal motivo, y con el fin de mejorar la movilidad y la calidad de vida de sus habitantes, la administración se ha propuesto realizar los estudios y diseños correspondientes para la ejecución de la construcción de treinta Box Culverts en el municipio, repartidos entre zonas rurales y zonas urbanas, los cuales mejorarán las condiciones de drenaje de aguas lluvias y cauces naturales que hoy en día impactan de manera negativa en el estado de las vías en el municipio.

En el presente informe de consultoría se describirán los resultados de los estudios hidrológicos y diseños hidráulicos para estas estructuras de cruce (Box Culvert) proyectadas. Los entregables de este informe se dividen de la siguiente manera:

En el capítulo No. 2 se presenta el objetivo de los estudios, el alcance y la localización general de la zona del proyecto. En el capítulo No. 3 se presenta la descripción de la información base tomada de referencia para el estudio. En el capítulo No. 4 se presenta la descripción climatológica de la zona del proyecto, como es el comportamiento de las precipitaciones, la temperatura, la humedad relativa, brillo solar y evapotranspiración. En el capítulo No. 5 se presentan la metodología y los resultados de los estudios hidrológicos para el cálculo de caudales de diseño de las estructuras de drenaje propuestas. En el capítulo No. 6 se presentan la metodología y los resultados de los diseños hidráulicos de los Box Culverts. En el capítulo No. 7 se describen las principales conclusiones y recomendaciones. Finalmente, en el Capítulo No. 8 se incluyen las referencias bibliográficas utilizadas para los estudios.

2 OBJETIVOS, ALCANCES Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO

2.1 OBJETIVO

Realizar los estudios hidrológicos y diseños hidráulicos para los Boxes Culverts proyectados en zonas urbanas y rurales del municipio de Los Córdobas, en el departamento de Córdoba.

2.2 ALCANCES

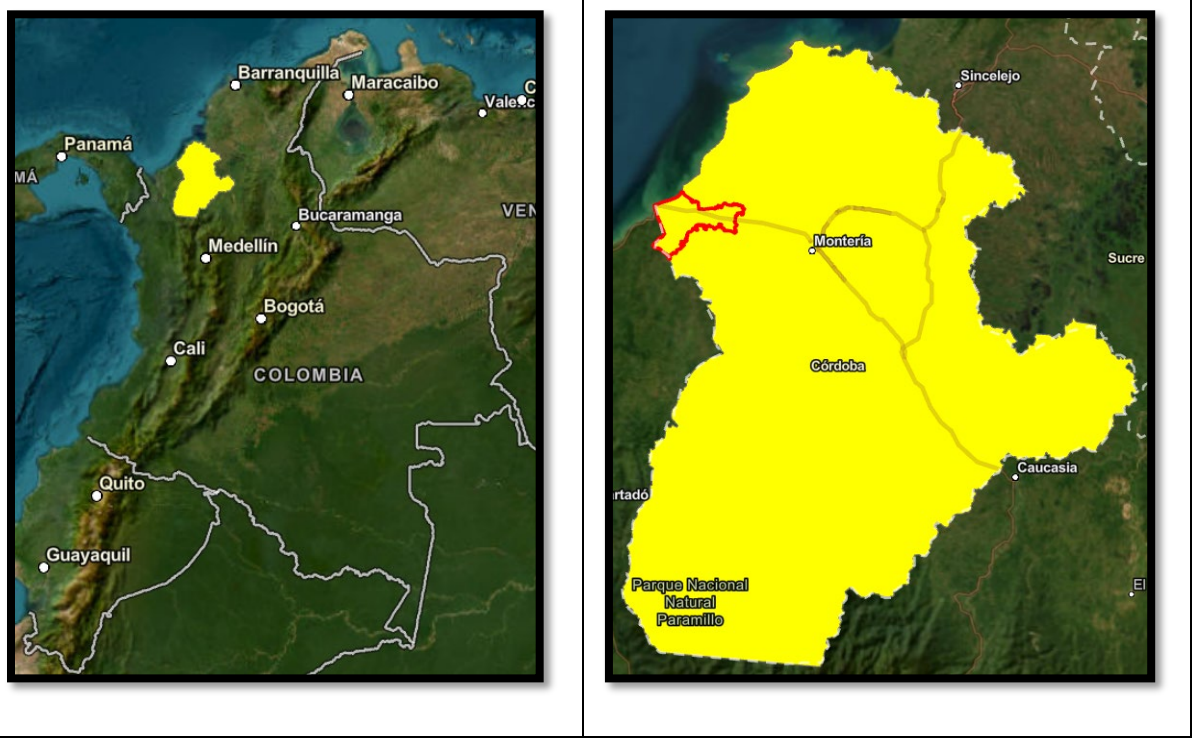
Dentro de los alcances del proyecto se encuentran:

- Delimitación y análisis morfométrico de las cuencas que drenan hacia cada uno de los Boxes Culverts.
- Estimación de los caudales drenados por las cuencas hacia los Boxes Culverts proyectados a partir de modelos lluvia-escorrentía y conforme a lo establecido en la normativa vigente en relación con estudios hidrológicos.
- Diseños hidráulicos de las estructuras de drenajes.

2.3 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto consiste en la ejecución de estudios y diseños para la construcción de Boxes Culverts para el cruce de los caudales drenados por las cuencas identificadas en cada uno de los puntos de intervención. Dichas estructuras hidráulicas se proyectan sobre las vías que hoy en día sufren avería por el mal manejo de los caudales generados. En la siguiente figura se presenta la localización general del proyecto.

Figura 2-1. Localización del municipio de Los Córdobas.



Fuente. Autor, 2025.

3 INFORMACIÓN BASE

La información base empleada para la realización de los estudios hidrológicos y diseños hidráulicos en el municipio de Los Córdobas es obtenida de las siguientes fuentes:

- Título D – RAS: Manual de buenas prácticas fundamentado en el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Res. 0330 de 2017).
- Información de corrientes natural del IGAC: capa shapefile de drenajes en el territorio nacional, descargada desde la web Colombia en Mapas.
- Información satelital del relieve de la zona: Modelo de elevación digital de resolución 12.5 x 12.5 m para la región Caribe, descargado del satélite ALOS PALSAR, desde la página de la NASA.
- Levantamiento topográfico: Información proporcionada por el contratante.

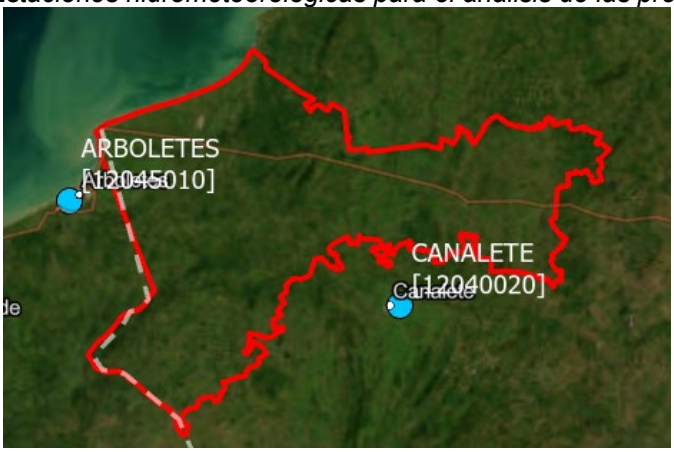
4 CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA DEL PROYECTO

Las condiciones climáticas que predominan en la zona de estudio presentadas a continuación fueron producto del análisis de variables climatológicas de la zona a partir de registros obtenidos del IDEAM entre los años 1980 y 2024. Se seleccionó la estación pluviométrica ESTACIÓN CANALETE [12040020] ubicada en el municipio de Canalete (Córdoba), por ser la estación meteorológica más cercana a la cuenca delimitada. Los periodos de registros, junto con las variables climatológicas evaluadas son las siguientes:

Tabla 4-1. Resumen de periodos de registros de las variables climatologías analizadas.

Estación	Tipo	Variable	Longitud	Latitud	Altitud	Periodo de Registros
CANALETE [12040020]	Pluviométrica	Precipitación	-76.2355	8.7869	40.00	1980-2024
ARBOLETES [12045010]	Pluviométrica	Precipitación	-76.4319	8.8469	4.00	1980-2024

Figura 4-1. Estaciones hidrometeorológicas para el análisis de las precipitaciones.



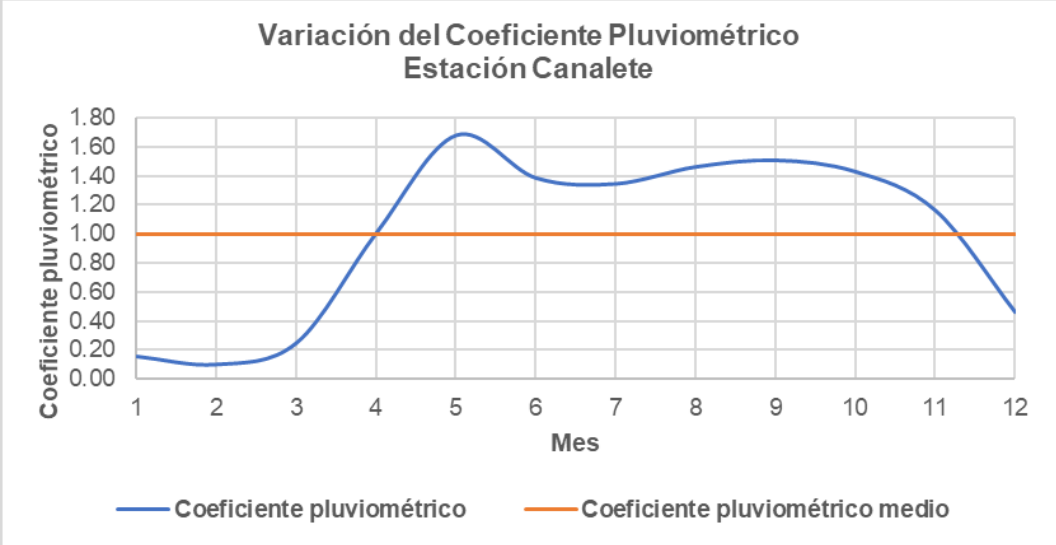
Fuente. Autores, 2025.

4.1 PRECIPITACIÓN

El comportamiento de las precipitaciones se analizó a partir de los registros pluviométricos de la estación sinóptica principal ESTACIÓN CANALETE [12040020], con el objetivo de identificar los periodos secos, de transición y húmedos en el año utilizando como metodología, el cálculo del coeficiente pluviométrico.

Los valores del coeficiente pluviométrico (C_p) mayores a 1 indican periodos húmedos, mientras que los valores menores a 1 representan los periodos secos. En este sentido, teniendo en cuenta el coeficiente pluviométrico definido por valores de precipitación obtenidos de la estación en mención, se evidencia que este lugar presenta un régimen monomodal de periodo climático, donde se presentan periodos de lluvia en exceso entre los meses de mayo y octubre y el periodo seco se extiende desde los meses de diciembre a marzo (Coeficiente pluviométrico menor a 1).

Gráfica 4-1. Coeficiente pluviométrico mensual.



Fuente. Autor, 2025. A partir de información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2024.

El cálculo de este coeficiente se realizó bajo la metodología descrita por (Galindo Martinez, 2012), el cual se describe matemáticamente como:

$$C_p = \frac{\left(\frac{P_m}{\#\ de\ días\ del\ mes}\right)}{\frac{P_A}{365}}$$

Donde P_m es la precipitación media mensual a nivel multianual de un mes específico (en mm) y P_A es la precipitación anual de la serie (en mm).

Tabla 4-2. Tipo de mes según coeficiente pluviométrico.

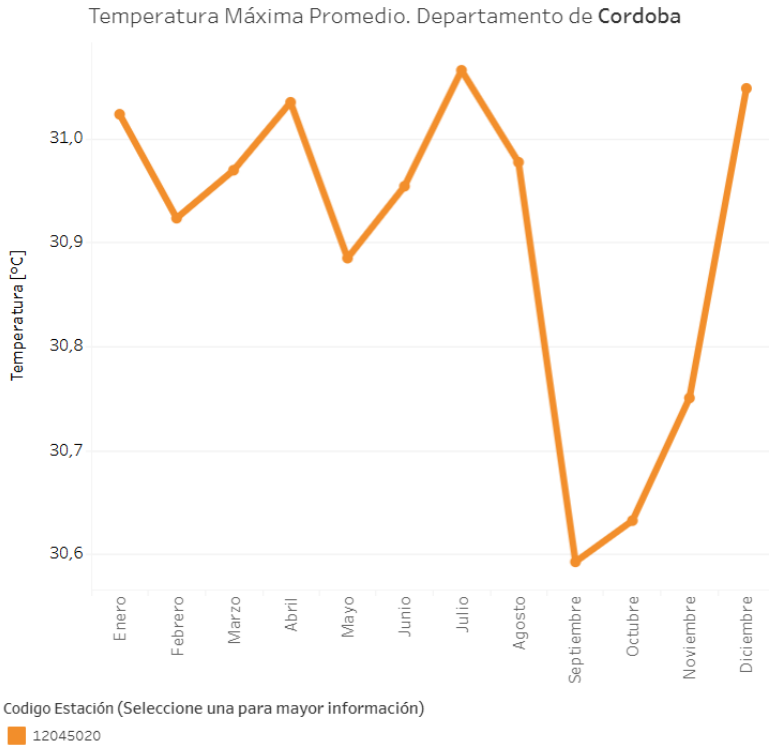
Mes	Tipo de mes	Mes	Tipo de mes
Enero	Seco	Julio	Húmedo
Febrero	Seco	Agosto	Húmedo
Marzo	Seco	Septiembre	Húmedo
Abril	Húmedo	Octubre	Húmedo
Mayo	Húmedo	Noviembre	Húmedo
Junio	Húmedo	Diciembre	Seco

Como se aprecia en la Gráfica 4-1, el régimen pluviométrico que caracterizará a la zona del proyecto obedece a un régimen monomodal, en el que la temporada seca comprende los meses de diciembre a marzo, mientras que el periodo lluvioso se presenta desde el mes de abril y noviembre, aunque a mitad de año las precipitaciones tienden a disminuir (IDEAM).

4.2 TEMPERATURA

La temperatura corresponde a un estado térmico que depende de la energía cinética media de las moléculas. Esta variable corresponde a una magnitud física que permite verificar la variación térmica de manera aleatoria, y puede ser influenciada por la variabilidad de la elevación del punto de estudio. La temperatura media para la zona estudio se.

Gráfica 4-2. Temperatura media, mínima y máxima de la zona de estudio - Estación PUERTO ESCONDIDO [12045020].



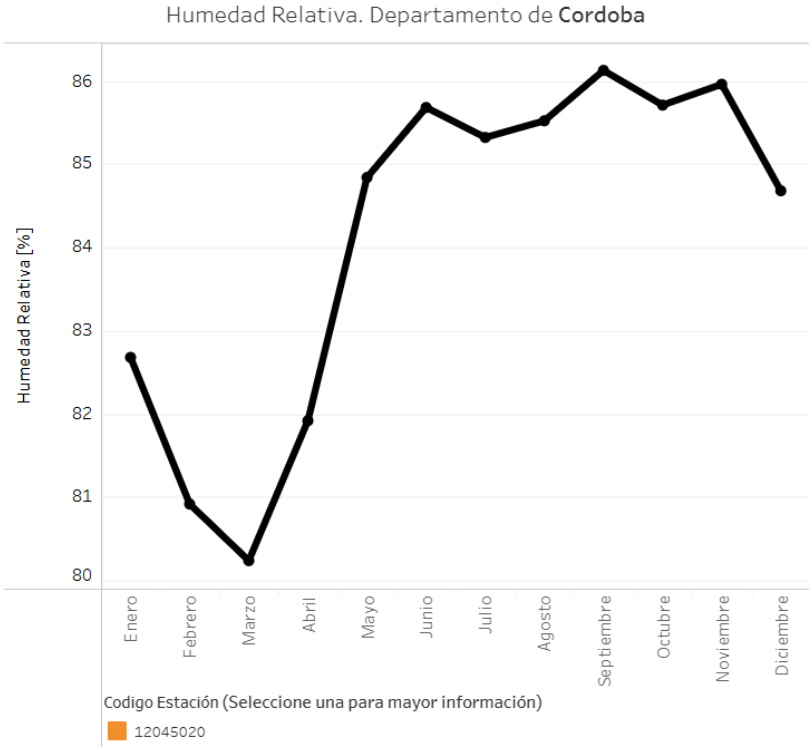
Fuente. (Servicio climático Fondo Nacional del Arroz, s.f.)

Dado que la estación Canalete no cuenta con registros históricos de temperatura máxima diaria, se considera la estación más cercana con datos de esta variable climática, la cual corresponde a la estación de Puerto Escondido. De acuerdo con la información de esta última, la temperatura máxima promedio más baja en el departamento de Córdoba la registro este municipio, con un valor de 30.90 °C. Los meses con mayor temperatura máxima anual promedio son julio (31.1 °C) y diciembre (31.0 °C), mientras que los meses con menor temperatura máxima promedio son septiembre y octubre (30.60 °C)

4.3 HUMEDAD RELATIVA

La humedad es un elemento meteorológico que tiene una relación estrecha en la cantidad de vapor de agua contenida en la atmosfera, la cual interfiere en su estabilidad, y consecuentemente en la probabilidad de ocurrencia de eventos de precipitaciones locales.

Gráfica 4-3. Humedad Relativa Mensual Multianual - Estación PUERTO ESCONDIDO [12045020].



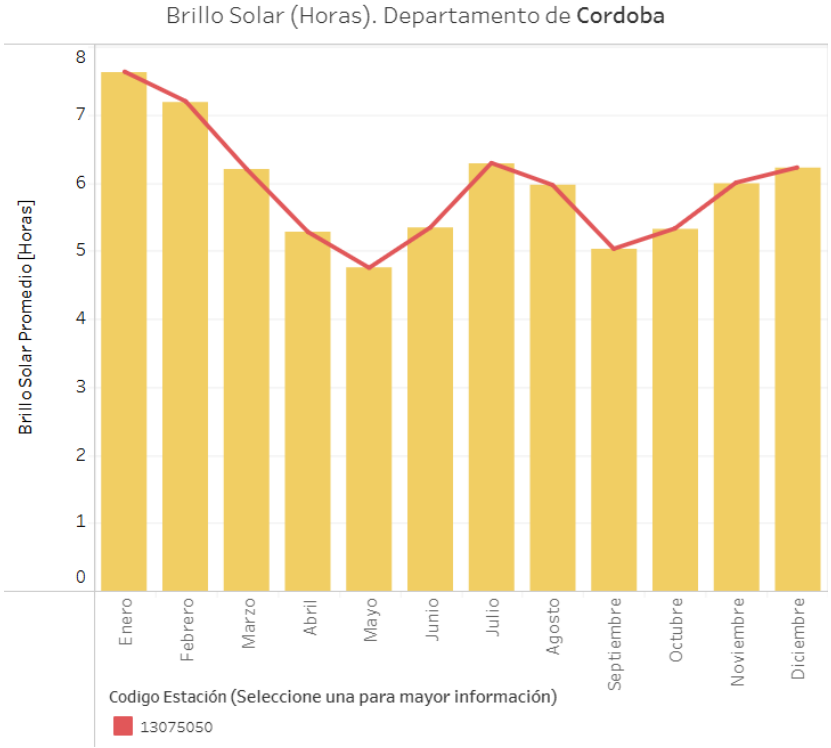
Fuente. (Servicio climático Fondo Nacional del Arroz, s.f.)

De acuerdo con la información de la Gráfica 4-3, los meses con mayor humedad relativa son septiembre (86.1%) y noviembre (86.0%), mientras que los meses con menor humedad relativa son febrero (80.9%) y marzo (80.2%).

4.4 BRILLO SOLAR

El brillo solar corresponde a la cantidad de insolación que recibe un área específica por un intervalo de tiempo definido, la cual depende de factores secundarios como la nubosidad y la precipitación en una región.

Gráfica 4-4. Brillo Solar Mensual Multianual - Estación MONTERÍA [13075050].



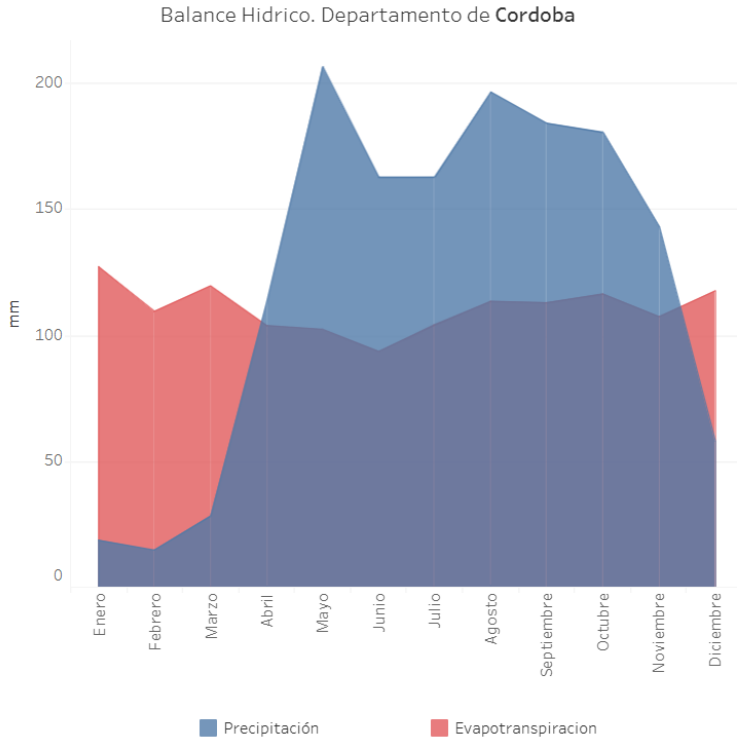
Fuente. (Servicio climático Fondo Nacional del Arroz, s.f.)

De acuerdo con la información que se muestra en la Gráfica 4-4, los periodos con mayor número de horas con brillo solar son enero (7.6 horas de sol) y febrero (7.2 horas de sol), mientras que los meses con menor número de horas con brillo solar son mayo (4.0 horas de sol) y septiembre (5.0 horas de sol). Además, el municipio capital Montería es el que registra el mayor número de horas con sol promedio anual (5.9 horas de sol) en el departamento de Córdoba.

4.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es la emisión de vapor de agua desde una superficie húmeda a temperatura inferior al punto de ebullición. Esta emisión de vapor de agua por las hojas de las plantas se conoce con el nombre de transpiración. (IDEAM, 2014). Para términos de estimar la evapotranspiración se aplica el método desarrollado por Thornthwaite, quien determino una expresión empírica que usa solamente la temperatura promedio mensual, junto con un factor de ajuste que depende de la ubicación latitudinal de la zona estudiada donde se relaciona la duración del día.

Gráfica 4-5. Evapotranspiración.



Fuente. (Servicio climático Fondo Nacional del Arroz, s.f.)

La Gráfica 4-5 muestra que los meses con menor tasa de evapotranspiración son abril (9.3 mm), diciembre (con un déficit de -59.7 mm), marzo (-91.4 mm), enero (-108.4 mm) y febrero (-94.6 mm).

5 ESTUDIO HIDROLÓGICO

5.1 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Para el estudio hidrológico se utilizó la información en línea del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), además de la información sobre el relieve del terreno obtenida de Google Earth. La información para el análisis hidrológico se compone de lo siguiente:

- Modelo de Elevación Digital: descargado de información satelital en formato ráster de resolución 12,5 m x 12,5 m.

- Precipitación: información obtenida de la estación pluviométrica ESTACIÓN CANALETE [12040020] del IDEAM y la estación pluviométrica ESTACION ARBOLETES [12045010]. Es importante mencionar que el uso de la información de una u otra estación pluviométrica se definió teniendo en cuenta la ubicación de la zona de estudio con respecto a cada estación. La información obtenida de la ESTACIÓN CANALETE se implementó para el diseño del Box Culvert ubicado en el corregimiento de Nuevo Nariño y la información de la ESTACION ARBOLETES se implementó para el diseño de las demás estructuras hidráulicas.

5.2 METODOLOGÍA

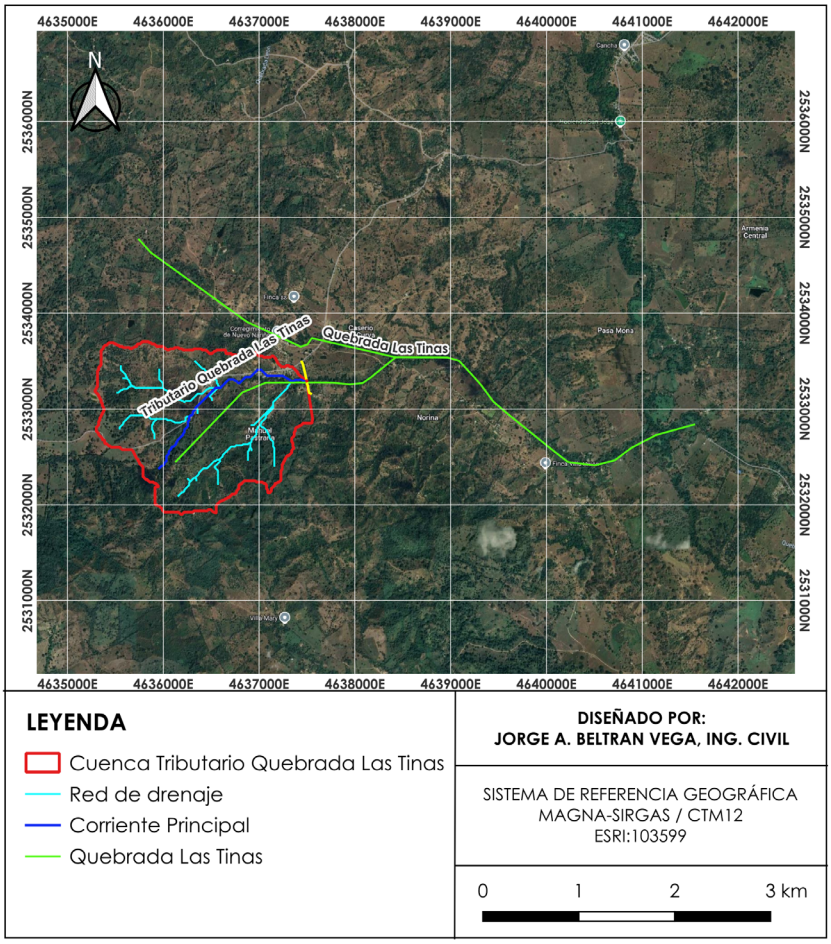
Para determinar las cuencas hidrográficas que drenan al proyecto se procesó el modelo de elevación digital descargado del satélite ALOS PALSAR, cuya resolución es de 12,5 m x 12,5m. Se realizó el procesamiento de este MDT en el software ARCGIS Pro v3.1.5, teniendo como resultado la delimitación automática de la divisoria de aguas o cuenca y la red de drenaje. Es importante mencionar que durante el desarrollo del presente informe se representará gráficamente sólo el procedimiento realizado para el Box Culvert proyectado en el corregimiento de Nuevo Nariño, sin embargo, se entregará el procedimiento de todos y cada uno de los boxes culvert diseñados dentro de los anexos del informe.

5.3 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

En la siguiente figura se presenta la cuenca hidrográfica delimitada que drena hacia el Box Culvert a diseñar en el corregimiento de Nuevo Nariño. En la siguiente figura se presenta la

cuenca hidrográfica delimitada para el cauce tributario a la Quebrada Las Tinas. La delimitación de las cuencas de cada uno de los boxes culverts diseñados se encontrarán en los anexos que hacen parte de las carpetas entregadas para cada uno de los casos especificos.

Figura 5-1. Cuenca Cauce Tributario a la Quebrada Las Tinas.



Fuente. Autor, 2025.

Los parámetros morfométricos calculados para esta área de drenaje se clasifican en las siguientes tablas.

Tabla 5-1. Parámetros morfométricos generales.

Parámetro (Unidad)	Cuenca Tributario Quebrada Las Tinas
Perímetro (km)	7.80
Área (km2)	2.90

Área (ha)	290.09
Longitud cauce principal (km)	2.21
Longitud Axial (km)	2.40
Ancho de la cuenca (km)	1.21

De los anteriores parámetros, el área de la cuenca es clave para definir la metodología de cálculo de caudales. De acuerdo con el Título D del Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio., 2012), cuando este parámetro es mayor a 80 hectáreas se deben estimar los caudales máximos mediante modelos lluvia-escorrentía como los incorporados en el software Hec-Hms. Sin embargo, cuando este parámetro es menor a 80 hectáreas se puede implementar el método racional para la estimación de los caudales de diseño.

Tabla 5-2. Parámetros asociados a la forma de la cuenca.

Parámetro	Cuenca Tributario Quebrada Las Tinas
Factor de forma, Kf	0.50
Coeficiente de compacidad, Kc	1.28
Índice de alargamiento	1.99
Circularidad	0.60
Relación de elongación	0.80

A partir del modelo digital de terreno, se extrajo la información sobre la red de drenaje y relieves de cada una de las cuencas, la cual se resumen en las siguientes tablas.

Tabla 5-3. Parámetros asociados a la red de drenaje de la cuenca.

Parámetro (Unidad)	Cuenca Tributario Quebrada Las Tinas
Cota mayor del cauce (m)	130.00
Cota menor del cauce (m)	64.00
Pendiente del cauce (m/m)	0.0298
Pendiente del cauce (%)	2.98
Longitud total de drenaje (km)	8.87
Densidad de drenaje (km/km2)	3.06

Tabla 5-4. Parámetros asociados al relieve de la cuenca.

Parámetro (Unidad)	Cuenca Tributario Quebrada Las Tinas
Cota máxima (m)	183.00
Cota mínima (m)	64.00
Cota media (m)	106.87
Desnivel Altitudinal (m)	119.00
Pendiente media (m/m)	0.1780
Pendiente media (%)	17.80

5.4 ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración se define como el tiempo que toma la lluvia que cae en el punto mas distante de la corriente de agua de una hoya para llegar a una sección determinada de dicha corriente, es decir, es el tiempo que se necesita para que toda la cuenca contribuya con escorrentía superficial en una sección considerada.

Este tiempo de concentración se puede calcular por diferentes fórmulas empíricas dentro de las cuales se pueden mencionar las implementadas en los diseños realizados tales como la ecuación de Kirpich y la ecuación de Ven Te Chow.

La ecuación de Kirpich esta dada por la siguiente ecuación:

$$T_c = 0.06628\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77}$$

Donde L es la longitud del cauce principal (en km), y S es la pendiente del cauce principal (en %).

Para el caso particular del box culvert de Nuevo Nariño se seleccionó la ecuación de Ven Te Chow, la cual se usa para estimar el tiempo de concentración de cuencas naturales de áreas cuya extensión no sobrepase los 3.000 km^2.

$$T_c = 0.273\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.64}$$

Donde L es la longitud del cauce principal (en km), y S es la pendiente del cauce principal (en %). Los resultados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-5. Tiempo de concentración y de retardo para la cuenca delimitada.

Cuenca	Tc (hr)	Tc (min)	Lag Time (min)
Tributario Quebrada Las Tinas	1.40	83.84	50.30

5.5 ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS PRECIPITACIONES EN LA ZONA DE ESTUDIO

Se identificó estación hidrometeorológica más cercanas a la cuenca delimitada y se analizó un registro histórico de precipitaciones entre los años 1980 y 2024, a partir del cual se obtuvieron los valores máximos anuales de dicha variable climática.

Tabla 5-6. Resumen de periodos de registros de las variables climatologías analizadas.

Estación	Tipo	Variable	Longitud	Latitud	Altitud	Periodo de Registros
CANALETE [12040020]	Pluviométrica	Precipitación	-76.2355	8.7869	40.00	1980-2024
ARBOLETES [12045010]	Pluviométrica	Precipitación	-76.4319	8.8469	4.00	1980-2024

Tabla 5-7. Precipitaciones máximas en 24 horas. ESTACIÓN CANALETE [12040020].

AÑO	P. Máx (24 hrs) [mm]	AÑO	P. Máx (24 hrs) [mm]	AÑO	P. Máx (24 hrs) [mm]
1980	84.0	1995	114	2010	110
1981	70.0	1996	69.7	2011	75
1982	80.0	1997	125	2012	60
1983	87.0	1998	145	2013	104
1984	92.0	1999	120	2014	74
1985	82.0	2000	110	2015	90
1986	107.0	2001	84	2016	158
1987	102.0	2002	112	2017	69
1988	122.0	2003	73	2018	85
1989	105	2004	83	2019	79
1990	86	2005	80	2020	90
1991	106	2006	100	2021	113

AÑO	P. Máx (24 hrs) [mm]	AÑO	P. Máx (24 hrs) [mm]	AÑO	P. Máx (24 hrs) [mm]
1992	126	2007	63	2022	133
1993	67	2008	85	2023	88
1994	105	2009	81	2024	120

Para los datos de la Tabla 5-9 también se aplicó la Prueba de Datos Dudosos (outlier) como verificación de la consistencia de estos valores ponderados. La prueba consiste en corregir o eliminar aquella información – datos – que se alejan de la tendencia del resto de la serie, para lo cual se determinan el umbral de datos dudosos altos y el umbral de datos bajos con las siguientes ecuaciones de frecuencia:

- Umbral para datos dudosos altos (en unidades logarítmicas):

$$y_H = \bar{y} + K_n s_y$$

- Umbral para datos dudosos bajos (en unidades logarítmicas):

$$y_L = \bar{y} - K_n s_y$$

Donde $\bar{y}$ es la media y s_y es la desviación estándar, en unidades logarítmicas, de los valores de precipitación máxima en 24 horas y K_n es un coeficiente que depende del tamaño de la muestra y corresponde a valores con un nivel de significación del 10% para una distribución normal. Los valores de K_n se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-8. Valores de Kn para la prueba de datos dudosos.

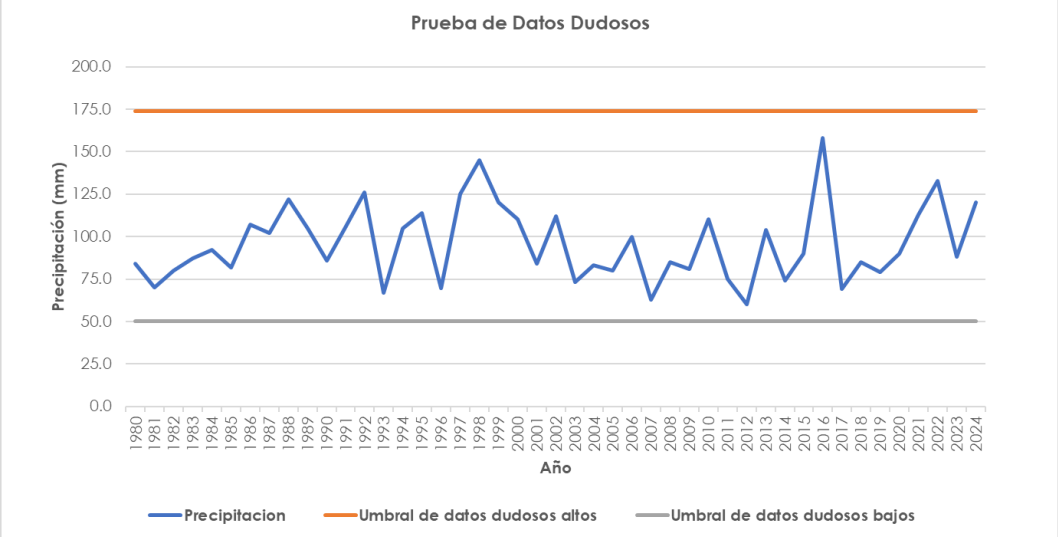
Tamaño de muestra, n	K_n	Tamaño de muestra, n	K_n	Tamaño de muestra, n	K_n	Tamaño de muestra, n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.70	80	2.94
15	2.247	29	2.549	43	2.71	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981

Tamaño de muestra, n	K_n	Tamaño de muestra, n	K_n	Tamaño de muestra, n	K_n	Tamaño de muestra, n	K_n
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.76	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.65	55	2.804		

Al considerarse una muestra de 45 datos, el valor de K_n utilizado para el análisis es igual a 2.727. Como se evidencia en la siguiente figura, la serie de precipitación se encuentra entre los límites de valores atípicos calculados con la metodología mencionada.

El valor de precipitación para el umbral de datos dudosos altos es igual a 173.94 mm, mientras que para el umbral de datos dudosos bajos es de 50.19 mm

Gráfica 5-1. Resultados de análisis de datos dudosos (outliers).



Fuente. Autor, 2025.

5.6 ESTIMACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

Metodología de Vargas y Díaz-Granados

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 ser las más práctica al emplearse. (Instituto Nacional de Vías - INVIAS, 2009)

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

Donde: i es la intensidad de precipitación (en mm/h), T es el periodo de retorno (en años), M es la precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual, t es la duración de la lluvia (en minutos) y a, b, c, d son parámetros de ajuste de la regresión de acuerdo con la región del país, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5-9. Coeficientes de regresión - Curvas IDF regionalizadas.

Región	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.5	0.1
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.2
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

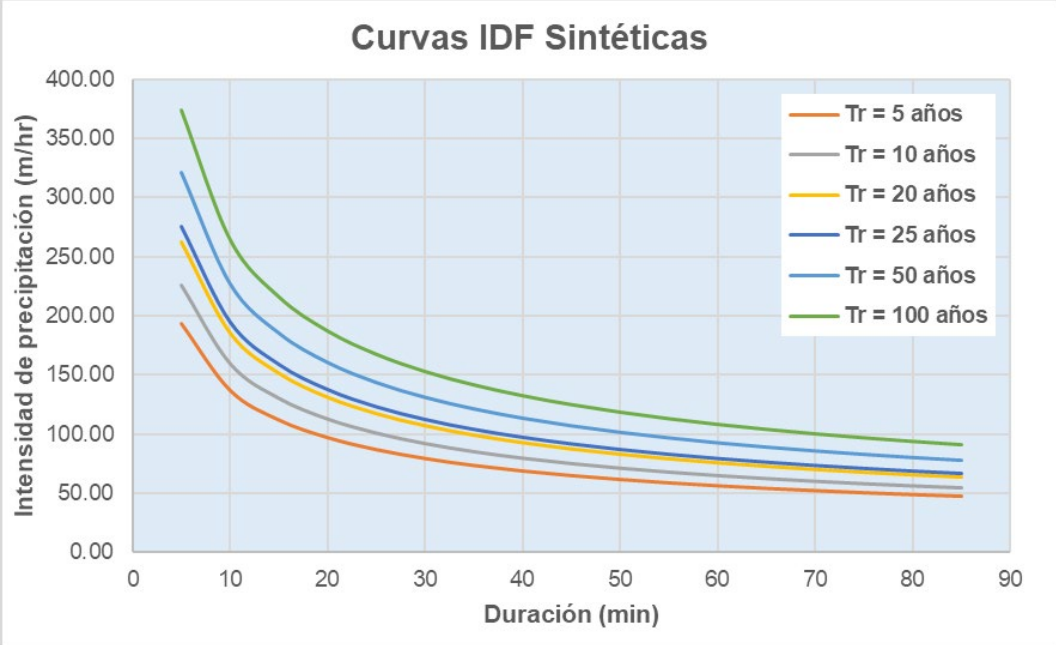
Los resultados del cálculo de la intensidad de lluvia aplicando la metodología descrita se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5-10. Intensidades de lluvia por el método simplificado.

Tiempo (min)	Intensidad de lluvia, *i* (mm/hr)					
	Periodo de retorno, *Tr* (años)					
	5	10	20	25	50	100
5	193.58	225.47	262.61	275.82	321.26	374.18
10	136.88	159.43	185.69	195.04	227.16	264.59
15	111.76	130.17	151.62	159.25	185.48	216.03
20	96.79	112.73	131.30	137.91	160.63	187.09

Tiempo (min)	Intensidad de lluvia, *i* (mm/hr)					
	Periodo de retorno, *Tr* (años)					
	5	10	20	25	50	100
25	86.57	100.83	117.44	123.35	143.67	167.34
30	79.03	92.05	107.21	112.60	131.15	152.76
35	73.17	85.22	99.26	104.25	121.42	141.43
40	68.44	79.71	92.85	97.52	113.58	132.29
45	64.53	75.16	87.54	91.94	107.09	124.73
50	61.21	71.30	83.04	87.22	101.59	118.33
55	58.37	67.98	79.18	83.16	96.86	112.82
60	55.88	65.09	75.81	79.62	92.74	108.02
65	53.69	62.53	72.83	76.50	89.10	103.78
70	51.74	60.26	70.18	73.72	85.86	100.00
75	49.98	58.22	67.81	71.22	82.95	96.61
80	48.39	56.37	65.65	68.96	80.31	93.55
85	46.95	54.68	63.69	66.90	77.92	90.75

Gráfica 5-2. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia a partir de precipitaciones de.



Fuente. Autor, 2025.

Es importante mencionar que estas curvas IDF deben obtenerse para ambos casos de estimación de caudales, dado que el valor de la intensidad de lluvia se requiere tanto para la estimación de caudales por el método racional como para el método de estimación de caudales con el software HEC-HMS.

5.7 CALCULO DE CAUDALES POR EL METODO RACIONAL

El cálculo de caudales de diseño por el método racional se aplica para las cuencas que cuentan con un área menor o igual a 80 hectáreas. Para ello, se emplea la siguiente ecuación:

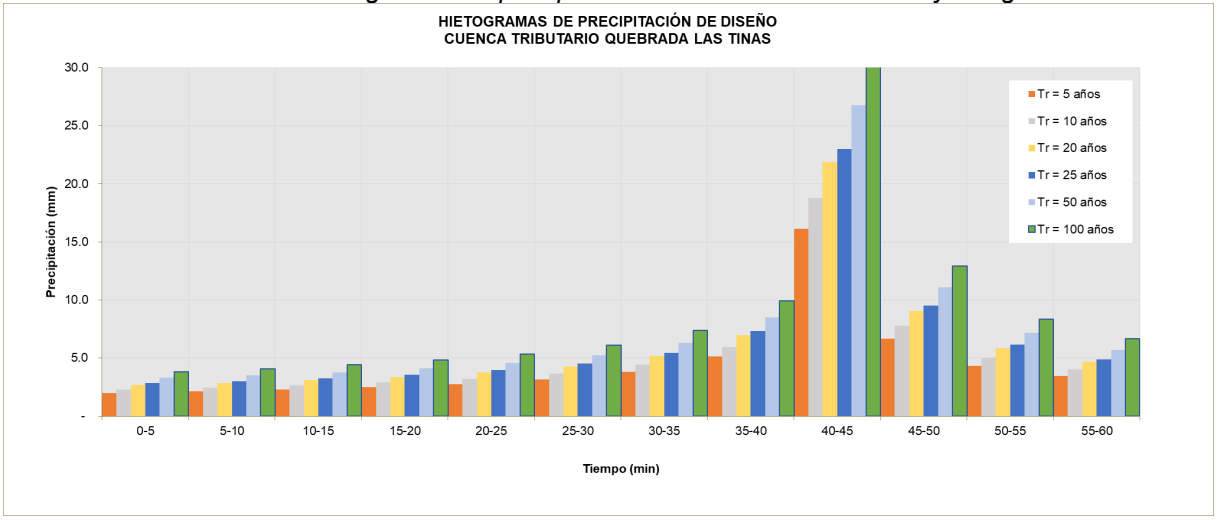
$$Q_d = 0.278xCxixA$$

Dónde Q_d es el caudal de diseño (m^3/s), *C* representa el coeficiente de escorrentía (adimensional), *i* es la intensidad de lluvia (mm/h) obtenida de la curva IDF para un período de retorno T_r a partir del tiempo de concentración calculado, y *A* es el área de la cuenca (Km^2).

5.8 HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN – MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO

El método del bloque alterno permite elaborar hietogramas de precipitación a partir de las curvas IDF, puesto que este método consiste en calcular precipitaciones incrementales para intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total de $T_d = n\Delta t$. Luego de seleccionar el periodo de retorno de diseño, se selecciona la intensidad correspondiente al mismo a partir de una curva IDF para cada una de las duraciones Δt, 2Δt, $3\Delta t$,…, y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. (Chow, 1994). En la siguiente gráfica se observa el hietograma de precipitación para diferentes periodos de retorno en las cuencas delimitadas.

Gráfica 5-3. Hietogramas de precipitación. Cuenca Tributario Arroyo Angola.



Fuente. Autor, 2025.

5.9 ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA

El número de curva se define como un parámetro adimensional de ajuste que permite determinar la precipitación efectiva producida por un evento de lluvia. El método fue propuesto por el Soil Conservation Services (SCS) de EE. UU (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio., 2012). Este parámetro está asociado a un valor de retención potencial a partir de la siguiente correlación:

$$S = 25.4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right)$$

Don S es el valor de retención potencial máxima (en m), que a su vez se relaciona con la precipitación efectiva, P, y precipitación total P_t (ambas en unidades de m) de la siguiente manera:

$$P = \frac{(P_t - 0.2S)^2}{(P_t + 0.8S)}$$

El valor de CN para una cuenca depende de tres aspectos: (1) El grupo hidrológico del suelo, (2) las condiciones antecedentes de humedad del suelo y (3) del uso del suelo. Para este método de infiltración se han definido cuatro grupos hidrológico de suelo:

- **Grupo A:** Conformado por suelos arenosos, arenas margosas o margas arenosas. Estos suelos se caracterizan por tener una alta capacidad de infiltración.

- **Grupo B:** Compuesto por suelos con limos, limos margosos o margas. Estos suelos tienen tasas de infiltración moderada cuando se encuentran muy húmedos.

- **Grupo C:** Contienen mayor contenido de margas arcillo arenosas, bajo contenido orgánico, poseen mayor contenido de arcillas. Estos suelos tienen a ser más impermeables, por lo cual, se caracterizan por tener moderadamente alto potencial de escorrentía.

- **Grupo D:** Suelos expansivos, con alto contenido de arcillas altamente plásticas, además de caracterizarse por tener un alto nivel freático permanente, lo cual genera baja capacidad de infiltración.

En cuanto a las condiciones antecedentes de humedad del suelo, depende de la cantidad de lluvia total a los cinco días precios a la tormenta de diseño (Instituto Nacional de Vías - INVIAS, 2009). La literatura define tres condiciones antecedentes de humedad (AMC, por sus siglas en inglés):

- **AMC I:** Se refiere a suelos en condiciones seca. Estos suelos tienen mayor potencial de infiltración.

- **AMC II:** Se refiere a suelos con condiciones de humedad antecedente promedio, por lo cual tienen un potencial de escorrentía promedio.

- **AMC III:** Se refiere a suelos saturados lo cual genera el mayor potencial de escorrentía superficial en una hoya hidrográfica.

Tabla 5-11. Número de curva para otras tierras agrícolas con condiciones de humedad antecedentes promedio AMC II.

DESCRIPCIÓN Y TIPO DE COBERTURA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	NÚMERO DE CURVA PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo[1]	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segados para heno	---	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla con la maleza como principal elemento[2]	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30[3]	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles)[4]	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosques[5]	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	---	59	74	82	86

Fuente. Manual de drenaje para carreteras. (Instituto Nacional de Vías - INVIAS, 2009)

En la anterior tabla, se presentan los valores de número de curva citados en el Manual de drenaje para carreteras (Instituto Nacional de Vías - INVIAS, 2009).

Dado que, por conocimiento de la zona de estudio del proyecto, se sabe que el tipo de suelo es arcilloso y su vocación de uso es para predios de fincas, se considerará un número de curva CN igual a **82**.

5.10 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS CON HEC-HMS

HEC-HMS es un software especializado en el análisis de los procesos de lluvia-escorrentía en áreas de drenaje, de tal manera que permite generar las gráficas de variación de flujo en el tiempo, a partir de métodos de transformación del exceso de precipitación en escorrentía superficial. Algunos de los métodos de hidrograma unitario (UH, por sus siglas en inglés) que incluye esta herramienta computacional son: UH de Clark, UH de Snyder y UH del SCS. De igual manera, permite definir un flujo base para la cuenca analizada.

Para realizar el análisis también es necesario definir el método de pérdidas por infiltración, dentro de los cuales figura el método del Número de Curva SCS. Este parámetro se ha determinado siguiendo la metodología descrita en el anterior apartado de este informe.

El método seleccionado para generar los hidrogramas de creciente en las cuencas delimitadas es el del hidrograma unitario del Soil Conservation Servise (SCS) que consiste en plotear los valores de caudal versus el tiempo, que se determinan como una la relación entre el caudal q para un tiempo t, en relación con el caudal pico q_p y el tiempo al pico t_p. Generalmente, este tipo de hidrograma no tienen restricciones para distintos tipos de cuenca, en comparación con otros métodos como los propuestos por Clark o Snyder. (Chow, 1994).

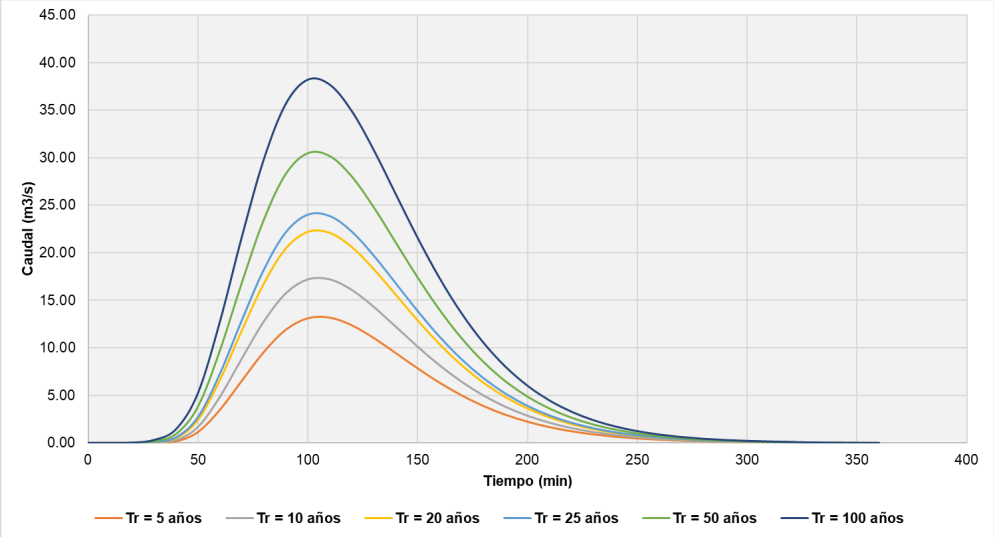
Los parámetros que se deben definir luego de seleccionar el método de transformación son el *factor de tasa máxima* (PRF, por sus siglas en inglés) y el *tiempo de retardo* (Lag Time). El primero se refiere al porcentaje de escorrentía que ocurre antes del pico que, de acuerdo con (Cahyono, 2019) es igual a 400 para cuencas con pendientes entre 10.00% - 20.00% como es el caso de la Cuenca de Nuevo Nariño. Mientras que el Lag Time se define como el 60% del Tiempo de concentración, de acuerdo con (United State Department of Agriculture USDA, 2010).

Los valores de los caudales picos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5-12. Caudales Máximos o picos – Cuenca Tributario A La Quebrada Las Tinas

Periodo de Retorno (años)	Caudal Pico (m3/s)
5	13.17
10	17.17
20	22.17
25	24.01
50	30.45
100	38.19

Gráfica 5-4. Hidrogramas de escorrentía para la Cuenca Tributario A La Quebrada Las Tinas.



Fuente. Autor, 2025.

5.11 PERIODO DE RETORNO (TR) DE DISEÑO

Para seleccionar el periodo de retorno de diseño, se consideró lo dispuesto en el artículo 135 de la resolución 0330 de 2017, en el que se sugieren los valores de este parámetro en relación con las características del área de drenaje.

En la siguiente tabla se resumen los valores de periodo de retorno de acuerdo con la primera fuente mencionada (Resolución 0330 de 2017), con lo cual se concluye que, para el diseño hidráulico de los canales perimetrales propuestos, **el periodo de retorno de diseño es igual a 50 años**, puesto que estas las áreas tributarias son inferiores a 1000 hectáreas.

Tabla 5-13. Periodos de retorno. Resolución 0330 de 2017.

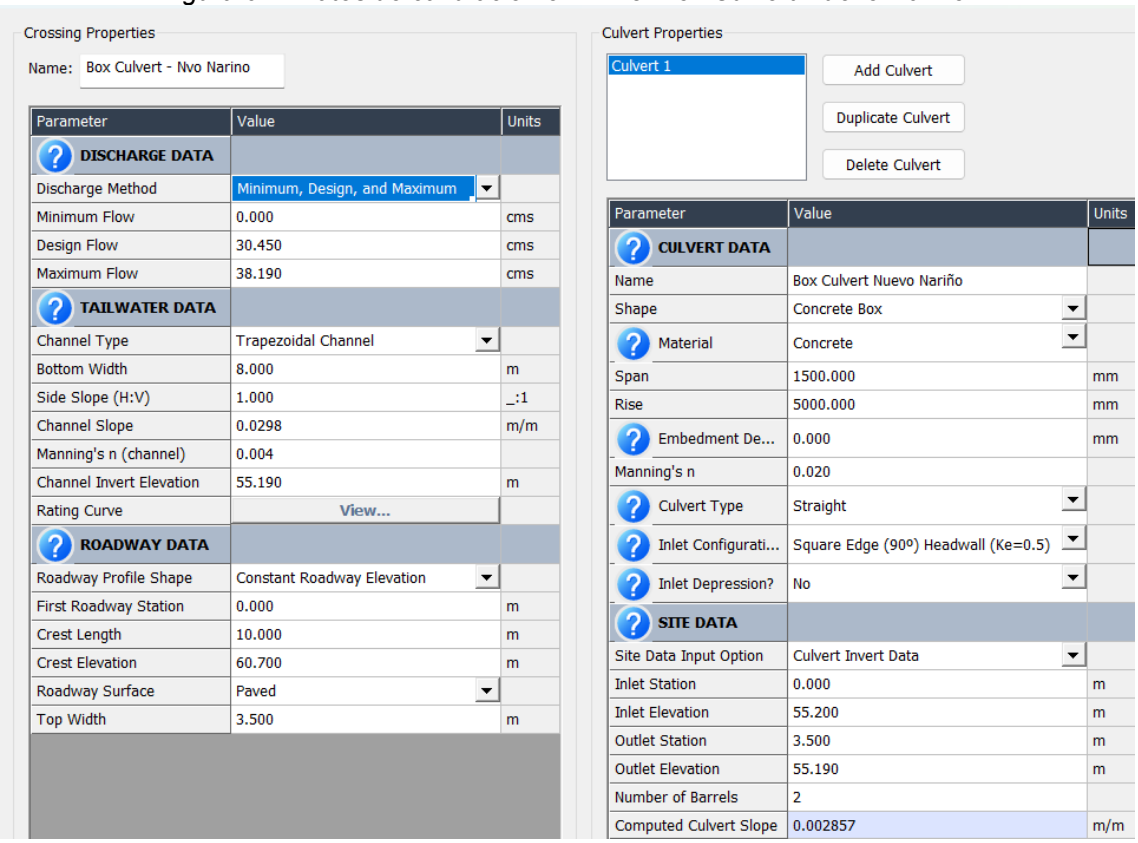
Característica del área de drenaje	Periodo de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores a 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores a 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores a 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

6 DISEÑO HIDRÁULICO DE BOX CULVERT

6.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO – USO DEL SOFTWARE HY-8

Este software fue desarrollado por la FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA) para ayudar en el análisis y el diseño de alcantarillas y Box Culvert. El módulo de análisis de alcantarillas del software HY8 incluye el análisis de alcantarillas con control a la entrada y a la salida y, adicionalmente, modela desbordamiento o flujo sobre la vía. El programa puede modelar un sistema de hasta 6 diferentes conductos paralelos, teniendo cada uno diferente número de tuberías, secciones transversales, cotas, pendientes y longitudes. El programa también modela el canal de salida, tomando una sección regular o irregular, a partir de la cual calcula el valor de TW asumiendo flujo uniforme.

Figura 6-1. Datos de calibración en HY-8. Box Culvert Nuevo Nariño.



Fuente. Autor, 2025.

A continuación, se presenta el perfil de la lámina de agua y tirante crítica, para la sección propuesta.

Figura 6-2. Elevación de lámina de agua. Box Culvert Nuevo Nariño.

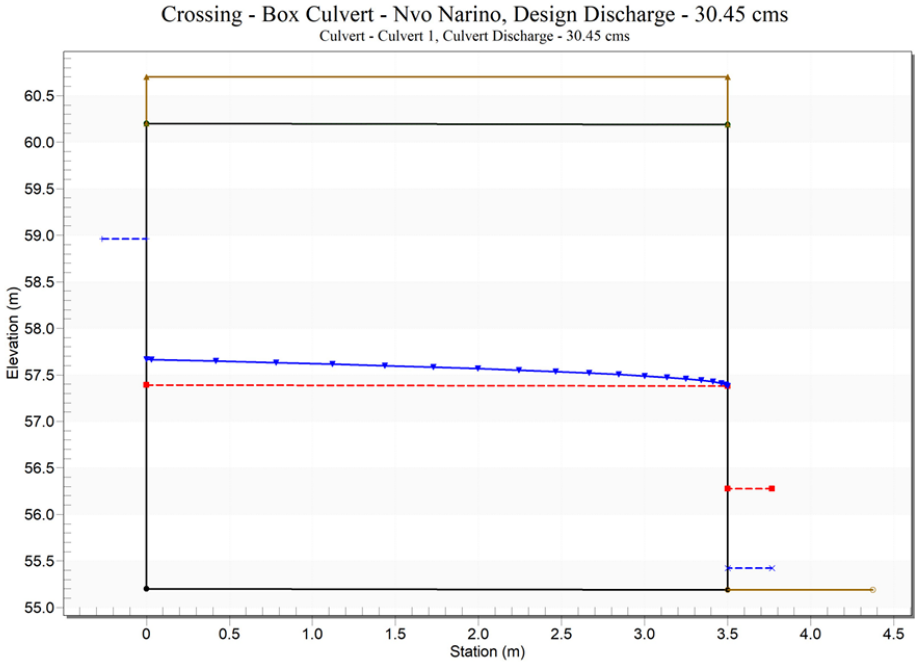
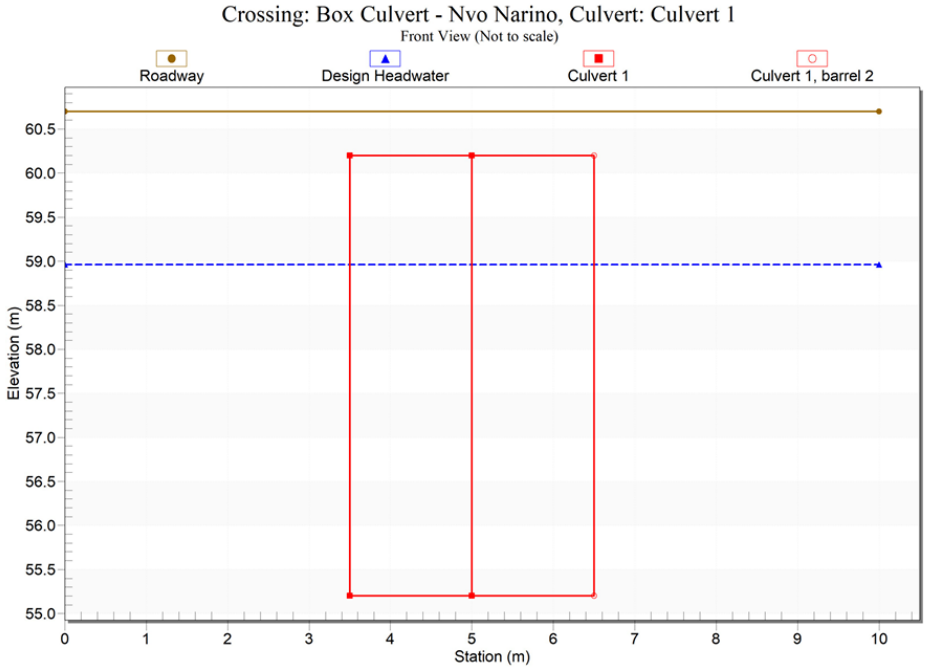


Figura 6-3. Elevación de lámina de agua en la sección del Box Culvert Nuevo Nariño.



Fuente. Autor, 2025.

Tabla 6-1. Resultados de evaluación hidráulica del Box Culvert Nuevo Nariño.

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)
0	0	55.2	0	0	0-NF	0
3.82	3.82	56.14	0.94	0.94	2-M2c	0.87
7.64	7.64	56.7	1.49	1.5	2-M2c	1.51
11.46	11.46	57.16	1.95	1.96	2-M2c	2.11
15.28	15.28	57.57	2.37	2.37	2-M2c	2.71
19.09	19.09	57.96	2.74	2.76	2-M2c	3.3
22.91	22.91	58.31	3.08	3.11	2-M2c	3.89
26.73	26.73	58.65	3.4	3.45	2-M2c	4.47
30.45	**30.45**	**58.96**	**3.71**	**3.76**	**2-M2c**	**5.00**
34.37	34.37	59.28	4.01	4.08	2-M2c	5.00
38.19	**38.19**	**59.58**	**4.3**	**4.38**	**2-M2c**	**5.00**

Tabla 6-2. Resultados de evaluación hidráulica del Box Culvert Vía de Acceso Etapa I con HY8. Continuación.

Total Discharge (cms)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0	0	0	0	0	0
3.82	0.55	0.55	0.07	2.32	7.06
7.64	0.87	0.87	0.1	2.92	9.26
11.46	1.14	1.14	0.13	3.35	10.86
15.28	1.38	1.38	0.15	3.68	12.14
19.09	1.6	1.6	0.18	3.97	13.23
22.91	1.81	1.81	0.2	4.22	14.19
26.73	2.01	2.01	0.22	4.44	15.06
30.45	**2.19**	**2.19**	**0.23**	**4.64**	**15.83**
34.37	2.37	2.37	0.25	4.83	16.58
38.19	**2.55**	**2.55**	**0.27**	**5**	**17.25**

Teniendo en cuenta que la lámina de agua no sobrepasa la cota rasante de la vía (de acuerdo con el manual de drenajes del INVIAS), se concluye que la estructura **SÍ TIENE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA** para el cruce de los caudales drenados por la cuenca delimitada.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para efectos de los estudios hidrológicos y diseños hidráulicos para los Boxes Culverts en el municipio de Los Córdobas se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se recomienda mantener las secciones hidráulicas calculadas en los diseños hidráulicos para garantizar el correcto funcionamiento de las estructuras. El dimensionamiento del espesor de muros, losas y longitud de los boxes culverts puede variar con base a los cálculos estructurales.

- Se deben considerar las obras complementarias en cada una de las estructuras hidráulicas proyectadas tales como los rellenos a la entrada y salida de los boxes culverts para garantizar el empalme entre las estructuras hidráulicas y las vías existentes.

- En las carpetas anexas a este informe se encontrará el análisis hidrológico, memorias de cálculo, diseño y planos hidráulicos de cada uno de los puntos en donde se proyectaron las estructuras hidráulicas, así como la información de base implementada en cada uno de los casos.

- Se diseñaron 23 boxes culverts implementando el método racional distribuidos así: Santa Rosa de la Caña (5), Morindó Peligro (4), Corea (2), Cuba (1), Morindó La Unión (1), La Ponderancia (1), Galilea 12 (1), El Guaimaro (1), Galilea 14 (2), Galilea 2 (1), Nueva Belen (1) y Palma de Coco (3).

- Se diseñaron 7 boxes culverts implementando el calculo de caudales mediante el software HEC HMS distribuidos así: Cantinas (1), Nuevo Nariño (1), Gonzalez (1), Cuba (1), Quebrada Seca (1), Morindó Santo Domingo (1), Buenavista (1).

- Se recomienda realizar obras de protección (empedrado) a la entrada y salida de cada uno de los boxes culverts proyectados con el fin de disminuir los daños que se puedan generar a largo plazo por socavación.

- El diseño estructural de las obras hidráulicas debe recomendar los mejoramientos necesarios en el terreno para garantizar la estabilidad de cada una de las estructuras.

8 REFERENCIAS

Cahyono, C. A. (2019). Análisis de influencia del factor de tasa máxima en el proceso de calibración de eventos de inundación utilizando HEC-HMS. *Modelo. Sistema de la Tierra Ambiente*(5), 705–1722. https://doi.org/10.1007/s40808-019-00625-8

Chow, V. T. (1994). *HIDROLOGÍA APLICADA.* Santafé de Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.

Galindo Martinez, J. (2012). *Problemas resueltos de hidrologia superficial y subterránea.* Bogotá: Universidad de la Salle.

IDEAM. (s.f.). *Atlas Climatológico.* Retrieved 16 de Marzo de 2023, from Clasificación de los climas: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/clima-text.pdf

Instituto Nacional de Vías - INVIAS. (2009). *Manual de drenajes para carreteras.* Bogotá D. C.: Instituto Nacional de Vías - INVIAS. https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file

La Rioja Bioparcelas. (s.f.). *LA RIOJA BIOPARCELAS*. https://larioja.com.co/

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2012). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. -- 2da. Ed.* Bogotá, D.C., Colombia: Universidad de los Andes.

Servicio climático Fondo Nacional del Arroz. (s.f.). *ZONA CARIBE HÚMERO CÓRDOBA*. Retrieved 08 de Julio de 2025, from Pronóstico de tiempo y clima local: https://clima.fedearroz.com.co/cordoba/

United State Department of Agriculture USDA. (Mayo de 2010). *Part 630 Hydrology National Engineering Handbook.* Chapter 15 Time of Concetration: https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=27002.wba