ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS
CONSULTOR HIDRÁULICO

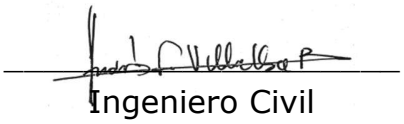
RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y DE LA CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA DE UN TRAMO DEL CAÑO EL BIEN COMÚN EN EL MUNICIPIO DE SAN PELAYO, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.



MONTERÍA, CÓRDOBA
FECHA | SEPTIEMBRE 2026

A003-Cod26032

CUADRO DE PROFESIONALES

REALIZÓ	
Ing. ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS Magister En Ingenieria - Hidrología E Hidráulica Esp. Mecánica De Suelos Y Cimentaciones Esp. Gerencia De Proyectos	 Ingeniero Civil Tp 22202-109996 Cor

CUADRO DE VERSIONES

Versión	Fecha	Descripción de Modificación
Versión 1	SEPTIEMBRE - 2026	Versión inicial

CONTENIDO

1. Introducción 1
2. Normativa aplicable 1
3. Software de diseño utilizado 1
4. Objetivo general 2
4.1. Objetivos específicos 2
5. Alcance del estudio 2
6. Generalidades del proyecto 3
6.1. Nombre del proyecto 3
6.2. Generalidades del municipio 3
6.2.1. Limites 4
6.2.2. Altitud 4
6.2.3. Información del subsuelo. 5
6.2.4. Características climatológicas. 5
6.2.5. Vegetación 8
6.2.6. Características geomorfológicas. 9
6.2.7. Geoestructurás y ambiente morfométrico 10
7. Localización del proyecto 11
8. Hidrología 12
8.1. Caracterización morfométricos 14
8.1.1. Parámetros morfométricos de la cuenca 14
8.1.2. Características del sistema de drenaje 18
8.1.3. Tiempo de concentración (tc) 19
8.2. Tipos de suelos y coberturas 21
8.2.1. Numero de la curva "cn". 24
8.3. Datos de precipitación 28
8.3.1. Selección de estación 28
8.3.2. Analis doble masa 30
8.3.3. Datos faltantes 32
8.3.4. Precipitación anual 33

8.3.5. Precipitación mensual 35
8.3.6. Análisis de frecuencia: precipitación. 36
8.4. Precipitación de diseño 42
8.5. Análisis de caudales 55
8.5.1. Cálculo de caudal de caudal-modelo hidrológico hec-hms 55
9. Modelo hidráulico condiciones iniciales 57
9.1. Configuración de la base topográfica (dem) 58
9.2. Discretización de la malla de cálculo y asignación de rugosidad 59
9.3. Modelo de lluvia implementado 61
9.4. Criterios de análisis para la salida del flujo 62
9.5. Determinación de cota de inundación (wse) 63
9.6. Determinación la altura del agua acumulada sobre el terreno 66
9.7. Velocidades de los flujos superficiales obtenidas 67
10. Modelo hidráulico condiciones proyectadas 68
10.1. Configuración de la base topográfica (dem) 69
10.2. Discretización de la malla de cálculo y asignación de rugosidad 70
10.3. Modelo de lluvia implementado 71
10.4. Criterios de análisis para la salida del flujo 72
10.5. Determinación de cota de inundación (wse) 72
10.6. Determinación la altura del agua acumulada sobre el terreno 76
10.7. Velocidades de los flujos superficiales obtenidas 78
10.8. Número de Courant y estabilidad del modelo 79
10.9. Esfuerzo cortante 80
11. Componente ambiental de la intervención 83
11.1. Conformación de bosque de galería 83
11.2. Servicios ecosistémicos a proveer 85
11.3. Impacto ambiental y social de las intervenciones 86
11.4. Indicador de impacto ambiental 87
12. Conclusiones y recomendaciones 89
13. Bibliografía 92
14. Anexo 93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación del municipio. 4
Ilustración 2. Modelo digital de Elevaciones. 5
Ilustración 3. Mapa precipitación del departamento de Córdoba. 6
Ilustración 4. Mapa de temperatura del departamento de Córdoba. 6
Ilustración 5. Mapa de Evotranspiración del departamento de Córdoba. 7
Ilustración 6. Mapa de zonificación climática del departamento de Córdoba. 7
Ilustración 7. Mapa de cobertura vegetal del departamento de Córdoba. 8
Ilustración 8. Subdivisión del departamento de Córdoba por regiones geotécnicas. 9
Ilustración 9. Mapa geoestructurás de Córdoba. 10
Ilustración 10. Mapa de geomorfología del departamento de Córdoba. 11
Ilustración 11. Cuenca hidrográfica del proyecto. 13
Ilustración 12. Modelo digital de elevaciones cuenca hidrográfica del proyecto. 13
Ilustración 13. Mapa general de suelos de zona de estudio. 22
Ilustración 14. Mapa de coberturas en la zona de estudio. 24
Ilustración 15. Mapa de uso de la tierra. 24
Ilustración 16. Mapa de grupo hidráulico. 27
Ilustración 17. Mapa de numero de curva 28
Ilustración 18. Ubicación de la estación pluviométrica. 29
Ilustración 19. Análisis de estaciones 31
Ilustración 20. Precipitación máxima diaria y total anual. 34
Ilustración 21. Datos de precipitación mensual. 35
Ilustración 22. Análisis estadístico mensual de la precipitación basado en registros históricos de estaciones IDEAM. 35
Ilustración 23. Gráfico de GEV (Máxima verosimilitud). 37
Ilustración 24. Gráfico de GEV (Método de momentos). 38
Ilustración 25. Gráfico de GEV (Método de momentos ponderados). 38
Ilustración 26. Gráfico de Gumbel (Máxima verosimilitud). 39
Ilustración 27. Gráfico de Gumbel (Método de momentos). 39
Ilustración 28. Gráfico de Gumbel (Método de momentos ponderados). 39
Ilustración 29. Gráfico de Pearson Tipo III (Método de momentos). 40
Ilustración 30. Curvas IDF estación seleccionada. 46
Ilustración 31. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 2 años 47
Ilustración 32. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 5 años 48
Ilustración 33. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 10 años 50

Ilustración 34. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 25 años 51
Ilustración 35. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 50 años 52
Ilustración 36. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 100 años 54
Ilustración 37. Modelo hidrológico HEC-HMS aplicado a la cuenca del proyecto. 56
Ilustración 38. Resultados e hidrogramas de caudal por el método de CN Tr =50 años. 57
Ilustración 39. Modelo digital de elevación del Caño El Bien Común. 58
Ilustración 40. Discretización de la Malla de Cálculo y asignación de Manning. .. 60
Ilustración 41. hidrograma de diseño Tr= 50 años 61
Ilustración 42. datos del flujo y parámetros de frontera. 62
Ilustración 43. Ubicación de Salida y entradas. 63
Ilustración 44. Superficie del nivel del agua (WSE), Tr=50 AÑOS. 63
Ilustración 45. Secciones transversales del cauce existente y niveles de lámina de agua obtenidos mediante modelación hidráulica en HEC-RAS. 64
Ilustración 46. Profundidades simuladas en el área del proyecto para Tr = 50 años. 66
Ilustración 47. Mapa de general de velocidades. 67
Ilustración 48. Sección de solución planteada 69
Ilustración 49. Modelo digital de elevación del Caño El Bien Común. 69
Ilustración 50. Discretización de la Malla de Cálculo y asignación de Manning. .. 71
Ilustración 51. Ubicación de Salida y entradas. 72
Ilustración 52. Superficie del nivel del agua (WSE), Tr=50 AÑOS. 73
Ilustración 53. Secciones transversales del cauce proyectado y niveles de lámina de agua obtenidos mediante modelación hidráulica en HEC-RAS. 74
Ilustración 54. Profundidades simuladas en el área del proyecto para Tr = 50 años. 77
Ilustración 55. Mapa de general de velocidades. 78
Ilustración 56. Perfil longitudinal de velocidades del Caño El Bien Común para Tr = 50 años en condiciones proyectadas. 78
Ilustración 57. Distribución del número de Courant en el modelo bidimensional para Tr = 50 años. 79
Ilustración 58. Velocidades y fuerza tractiva máximas permisibles. 81
Ilustración 59. Distribución del esfuerzo cortante en el Caño El Bien Común para Tr = 50 años. 81
Ilustración 60. Mejoramiento para evitar erosión en el cauce. 82
Ilustración 61. Protección y estabilización. 82
Ilustración 62. Esquema de franja de protección y conformación de bosque de galería – Caño El Bien Común 84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Geoposicionamiento. 12
Tabla 2. Especificaciones DEM. 14
Tabla 3. Clasificación del índice de compacidad. 16
Tabla 4. Clasificación del factor de forma. 16
Tabla 5. Clasificación del índice de alargamiento. 17
Tabla 6. Clasificación del índice asimétrico. 17
Tabla 7. Datos morfométricos. 21
Tabla 8. Tiempos de concentración. 21
Tabla 9. Características de los suelos de la zona de estudio. 22
Tabla 10. Cobertura y uso de la tierra. 23
Tabla 11. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2S) 25
Tabla 12. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S 26
Tabla 13. Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S 26
Tabla 14. Valores del número de la curva CN(II), ponderación. 27
Tabla 15. Valores del número de la curva CN(III). 28
Tabla 16. Estaciones para datos de precipitación. 29
Tabla 17. Datos de la estación principal. 29
Tabla 18. Datos de estaciones del IDEAM. 30
Tabla 19. Precipitación estación seleccionada. 33
Tabla 20. Datos de precipitación mensual. 36
Tabla 21. Resultados de análisis de frecuencia. 41
Tabla 22. Periodos de retorno de diseño. 42
Tabla 23. Parámetros estadísticos estación seleccionada. 44
Tabla 24. Regionalización de los parámetros a, b, c y d para a estimación de Curvas IDF. 45
Tabla 25. Valores de Intensidad para varios tiempos de retorno y duración estación seleccionada. 46
Tabla 26. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 2 años 47
Tabla 27. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 5 años 49
Tabla 28. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 10 años 50
Tabla 29. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 25 años 51
Tabla 30. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 50 años 52
Tabla 31. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 100 años 53
Tabla 32. Configuración general del modelo HEC-HMS. 56
Tabla 33: estimación de la n de Manning para canales. 59
Tabla 34. Cantidad de árboles para bosque de galería. 85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ancho de cuenca 15
Ecuación 2. Índice de compacidad 16
Ecuación 3. Factor de forma 16
Ecuación 4. Índice de alargamiento 16
Ecuación 5. Índice asimétrico 17
Ecuación 6. Pendiente media de la cuenca 17
Ecuación 7. elevación media de la cuenca 18
Ecuación 8. Ecuación de Kirpich 19
Ecuación 9. Ecuación de Témez 19
Ecuación 10. Ecuación de Johnstone y Cross 19
Ecuación 11. Ecuación de Giandotti 20
Ecuación 12. Ecuación SCS – Ransner 20
Ecuación 13. Ecuación de Ventura – Heras 20
Ecuación 14. Ecuación de V. T. Chow 20
Ecuación 15. Datos faltantes de precipitación. 32
Ecuación 16. Tiempo de retorno. 42
Ecuación 17. Función de distribución de probabilidad. 42
Ecuación 18. Cálculo medio. 43
Ecuación 19. Cálculo de promedio. 44
Ecuación 20. Cálculo de varianza. 44
Ecuación 21. Cálculo de desviación estándar 44
Ecuación 22. Coeficiente de variación. 44
Ecuación 23. Intensidad 45
Ecuación 24. Precipitación acumulada 47

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios y diseños presentados tienen como objetivo analizar las precipitaciones en las áreas del proyecto, así como la forma natural en que estas interactúan y son evacuadas a través del tramo vial urbano en el municipio de san Pelayo. El propósito es evaluar la incidencia que estos eventos de lluvia podrían tener en el área de estudio.

Los estudios obedecen a la estimación hidrológica cuantitativa de las lluvias pico que son posible en los periodos de diseños establecidos en las normas competentes.

De igual manera, se determinarán los recorridos de la escorrentía superficial provocada por las lluvias aprovechando las pendientes naturales.

2. NORMATIVA APLICABLE

Los elementos comprendidos dentro del alcance del proyecto serán diseñados y evaluados de conformidad con la normativa vigente, los estándares técnicos aplicables y el marco legal nacional. En particular, se adoptarán como referencia los lineamientos establecidos en los siguientes documentos.

- Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, adoptado mediante la Resolución 0330 de 2017 y sus modificaciones vigentes.
- Manual de Drenajes del INVIAS.

3. SOFTWARE DE DISEÑO UTILIZADO

- Para la elaboración de este informe se utilizaron herramientas informáticas para la realización de búsquedas, automatización de cálculos e imágenes satelitales (Google Earth).
- Para el análisis de imágenes Satelitales se implementó software de herramientas SIG
- Para el análisis hidráulico se empleó el software HEC-RAS y HEC-HMS.

4. OBJETIVO GENERAL

Definir la sección hidráulica del canal mediante la integración del análisis hidrológico e hidráulico, de manera que se garantice una conducción eficiente de la escorrentía, minimizando la energía del flujo y contribuyendo al drenaje optimo.

4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y caracterizar las principales características morfológicas del terreno que influyen en la dinámica hidrológica e hidráulica del predio.
- Determinar los caudales de escorrentía producto de los eventos de precipitaciones pico presentadas en el sector del proyecto
- Realizar el análisis hidráulico del cauce para determinar el comportamiento de la escorrentía superficial.
- Determinar posibles zonas de riesgo por inundación o acumulación de agua que puedan afectar la operación del proyecto.
- Formular un diseño hidráulico y geométrico eficiente, adaptado a la topografía natural, que garantice la adecuada captación y conducción de las escorrentías, preservando la estabilidad del talud.

5. ALCANCE DEL ESTUDIO

El presente estudio comprende la evaluación de las condiciones hidrológicas e hidráulicas del área de influencia del proyecto, como base técnica para el diseño y dimensionamiento de canales en material natural destinados al manejo de las aguas de escorrentía superficial. Este análisis busca garantizar la conducción adecuada de los flujos generados por eventos de precipitación, reduciendo la concentración de caudales sobre el terreno y previniendo procesos erosivos que puedan afectar la estabilidad de los taludes.

Para ello, se realizará la caracterización hidrológica mediante la recopilación y análisis de registros pluviométricos históricos de estaciones cercanas, con el propósito de establecer las curvas de Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) y definir los escenarios de precipitación de diseño. Posteriormente, se estimarán

los caudales de escorrentía superficial y se evaluará su comportamiento hidráulico sobre el terreno natural, permitiendo identificar zonas de concentración de flujo, puntos de mayor energía hidráulica y sectores con potencial de erosión.

Con base en los resultados obtenidos, se establecerán los criterios técnicos para el diseño de los canales excavados en material natural, considerando parámetros como pendiente, geometría, rugosidad y características del suelo. El diseño estará orientado a lograr una adecuada capacidad de conducción hidráulica y condiciones de estabilidad frente a procesos erosivos, garantizando la evacuación eficiente de las aguas pluviales y la protección de la infraestructura proyectada.

6. GENERALIDADES DEL PROYECTO

6.1. NOMBRE DEL PROYECTO

"RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y DE LA CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA DE UN TRAMO DEL CAÑO EL BIEN COMÚN EN EL MUNICIPIO DE SAN PELAYO, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA."

6.2. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO

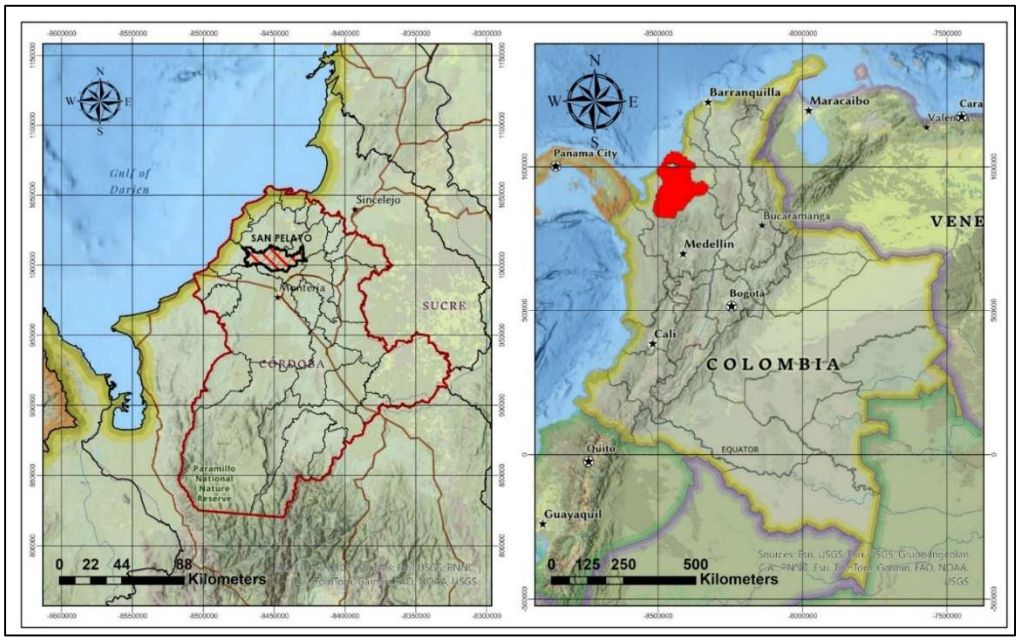
El proyecto objeto del presente estudio se localiza en el área de influencia del caño El Bien Común, ubicado en el municipio de San Pelayo, departamento de Córdoba, en la región Caribe colombiana. El sector se encuentra dentro del valle aluvial del río Sinú, una zona caracterizada por relieves planos a suavemente ondulados y condiciones fisiográficas asociadas a la dinámica fluvial, donde predominan sistemas de drenaje naturales conformados por caños, ciénagas y cuerpos de agua menores.

Desde el punto de vista hidráulico y ambiental, las características geomorfológicas del área condicionan el comportamiento del flujo dentro del cauce, especialmente durante periodos de alta precipitación, donde pueden presentarse incrementos de nivel, reducción de la capacidad de conducción y procesos asociados a erosión o sedimentación. Por esta razón, el análisis del caño El Bien Común requiere considerar las condiciones topográficas, hidrológicas y geomorfológicas del entorno, con el fin de establecer criterios adecuados para la evaluación hidráulica y las medidas de manejo requeridas.

En consecuencia, para la planificación y localización del proyecto se deben considerar las condiciones hidrográficas, geomorfológicas y topográficas propias de San Pelayo, debido a su incidencia sobre el drenaje superficial, la estabilidad

del terreno, la susceptibilidad a inundaciones localizadas y la conectividad territorial. La localización general del municipio de San Pelayo y del área específica de intervención puede observarse en la Ilustración 1.

Ilustración 1. Ubicación del municipio.



Fuente: Elaboración propia.

6.2.1. LIMITES

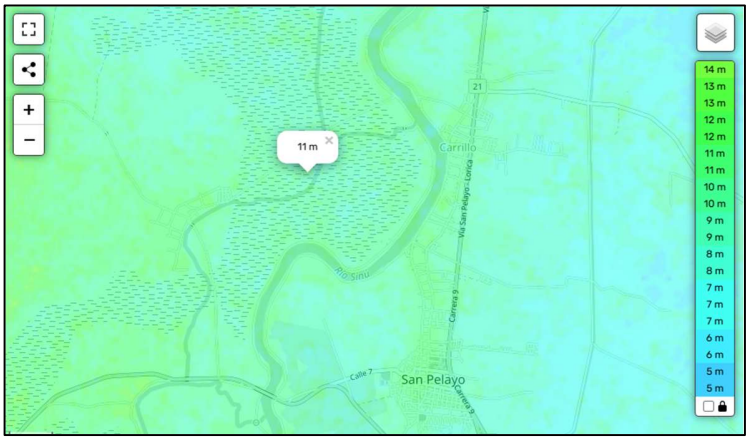
- La ubicación geográfica del municipio de San Pelayo se encuentra delimitada por los siguientes límites administrativos:
- Norte: Municipio de Lorica y municipio de Cotorra.
- Este: Municipios de Chimá y Ciénaga de Oro.
- Sur: Municipios de Cereté y Montería.
- Oeste: Municipios de Cereté y Montería.

Estos límites establecen la extensión territorial del municipio dentro del departamento de Córdoba y permiten contextualizar la localización del área del proyecto dentro de su jurisdicción rural, en un entorno influenciado por la cuenca del río Sinú y las estribaciones de la serranía del Paramillo.

6.2.2. ALTITUD

La altitud media de la zona de estudio se estima en 11 metros sobre el nivel del mar Ver Ilustración 2.

Ilustración 2. Modelo digital de Elevaciones.



Fuente: Sacado de Topographic-map.com.

6.2.3. INFORMACIÓN DEL SUBSUELO.

El término "subsuelo" o "sustrato" hace referencia a la capa de suelo ubicada debajo de la superficie terrestre. Este estrato abarca una variedad de materiales, como arcilla y arena, que han experimentado procesos parciales de descomposición debido a factores como la exposición al aire, la luz solar, el agua y el viento. Estos procesos conducen a la formación del suelo propiamente dicho. Directamente bajo el subsuelo se encuentra el sustrato, caracterizado por una composición que puede ser rocosa, sedimentaria o influenciada por depósitos formados por agentes geológicos activos en esta capa más profunda.

El subsuelo alberga partículas parcialmente descompuestas, generalmente con tonalidades más claras como el marrón o el amarillo. Este estrato desempeña un papel crucial como hábitat para las raíces profundas de plantas de gran envergadura, como los árboles, contribuyendo así a la salud y estabilidad del ecosistema subterráneo.

6.2.4. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS.

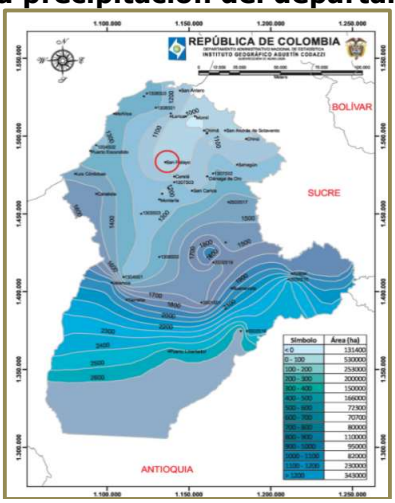
El clima emerge como un determinante fundamental en la formación del suelo, ya que influye significativamente en las cantidades y distribuciones de diversos organismos, animales y vegetales, así como en sus interacciones mutuas.

La distribución de las lluvias en el departamento de Córdoba está determinada por el paso anual de la Centro de Convergencia Intertropical (CIT). Durante el tiempo anticiclónico, que suele ocurrir en los primeros meses del año, la CIT se ubica al sur del Ecuador térmico, lo que genera un clima soleado y seco. A medida que avanza hacia el norte en marzo, provoca un clima ciclónico en el sur del país, mientras que la región del Caribe, incluyendo Córdoba, experimenta buen

tiempo. La temporada ciclónica en la costa Atlántica generalmente comienza en mayo. Durante la segunda mitad del año, la CIT avanza hacia el norte, alcanzando su máxima actividad en septiembre y octubre, a veces hasta noviembre.

En consecuencia, Córdoba experimenta dos temporadas de lluvias: una más pronunciada en abril y mayo, y otra entre septiembre y noviembre. Además, hay una temporada con lluvias de menor intensidad entre junio y agosto, seguida por una temporada seca de diciembre a marzo. El municipio presenta una altura promedio de 11 msnm, con precipitación media anual de 1.008 mm. (Ilustración 3).

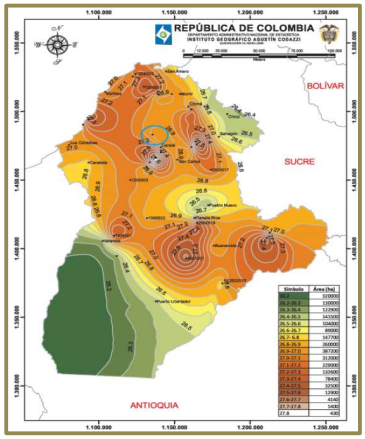
Ilustración 3. Mapa precipitación del departamento de Córdoba.



Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento IGAC.

Durante todo el año, las temperaturas en San Pelayo oscilan entre máximas de 31 °C y 35 °C, y mínimas entre 23 °C y 25 °C.

Ilustración 4. Mapa de temperatura del departamento de Córdoba.

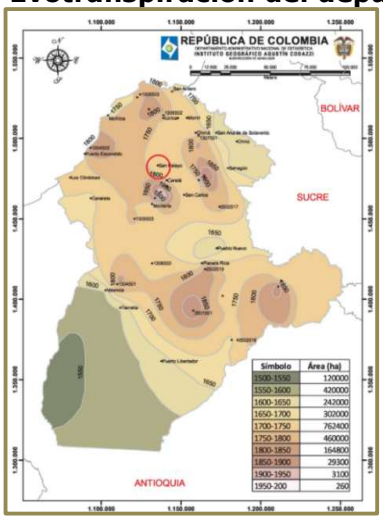


Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento IGAC.

La evapotranspiración potencial (ETP) es un componente vital del balance hídrico climático, utilizado para estimar las pérdidas de agua en la superficie del suelo. Esta medida es fundamental para calcular la disponibilidad de agua en el suelo, crucial para el desarrollo y la producción de las plantas.

El municipio y hacia el norte del departamento se presenta un aumento de los valores de ETP. El Valor de evapotranspiración potencial del municipio es de 1750 mm.

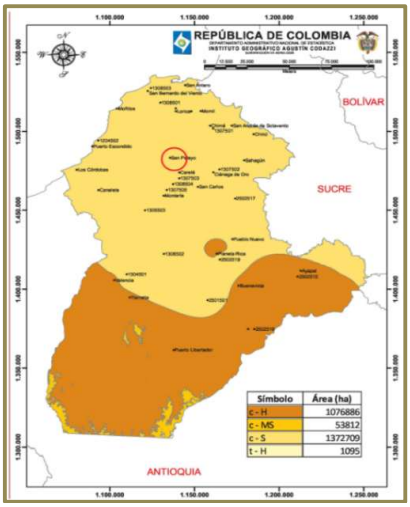
Ilustración 5. Mapa de Evotranspiración del departamento de Córdoba.



Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento IGAC.

En base a los parámetros obtenidos y la clasificación propuesta por el IGAC, el municipio se ubica en un clima Cálido-seco. Esta unidad climática es representativa del sector norte del departamento.

Ilustración 6. Mapa de zonificación climática del departamento de Córdoba.



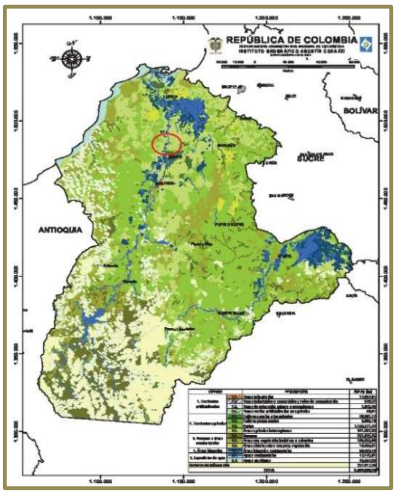
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento IGAC.

6.2.5. VEGETACIÓN

Por medio del sistema de clasificación y metodología de Corine Land Cover, el cual se utiliza para realizar el inventario de coberturas de la tierra, se tiene que San Pelayo presenta cobertura vegetal predominante de cultivos anuales o transitorios, áreas agrícolas heterogéneas, áreas húmedas continentales, aguas continentales y aguas marinas.

Cultivos anuales o transitorios: Estas áreas son ocupadas por cultivos de ciclo vegetativo corto, que generalmente dura un año o menos, a veces solo unos pocos meses. Después de la cosecha, es necesario volver a sembrar o plantar para mantener la producción. Esto incluye tierras dedicadas a cultivos anuales o transitorios.

Ilustración 7. Mapa de cobertura vegetal del departamento de Córdoba.



Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento IGAC.

Áreas agrícolas heterogéneas: Estas áreas se caracterizan por su diversidad en la cobertura, que puede deberse al tamaño reducido de los terrenos, a condiciones climáticas locales o a características del suelo que dificultan la delimitación de unidades cartográficas homogéneas.

Aguas marítimas: incluyen áreas costeras, estuarios, y cuerpos de agua salada o salobre que están separados del océano o del mar por una franja costera. Estos pueden variar en tamaño y forma, y están influenciados por la marea.

Aguas Húmedas continentales: Tierras bajas son áreas que comúnmente se inundan durante el año y pueden formarse a partir de zonas de inundación de ríos, depresiones donde el agua subterránea aflora de manera estacional o permanente. Estas áreas incluyen hondonadas donde el agua se acumula naturalmente, a menudo con suelos fangosos o arcillosos en el fondo.

6.2.6. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS.

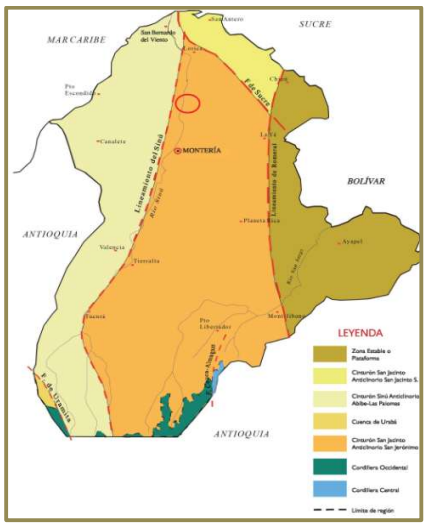
Para el presente estudio se tomó como base de investigación del subsuelo los estudios realizados por el instituto geográfico Agustín Codazzi, Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba.

La geomorfología, como disciplina integrante de la geografía y la geología, se dedica al estudio de las formas de la superficie terrestre, investigando su origen y su comportamiento en la actualidad.

El departamento de Córdoba se divide en 5 regiones geotécnicas, propuestas por INGEOMINAS, que presentan una evolución geológica diferente, entre estas encontramos la cuenca de Urabá, cordilleras Occidental y central, Cinturón Sinú, Cinturón de San Jacinto y los diversos depósitos del Cuaternario.

El municipio de San Pelayo se encuentra localizado hacia oriente del Departamento de Córdoba ubicado en la subregión del San Jorge. El municipio se ubica en región tectónica de Zona estable o Plataforma, este constituye la franja alargada en sentido norte-sur localizada en el extremo oriental del departamento (Ver Ilustración 8).

Ilustración 8. Subdivisión del departamento de Córdoba por regiones geotécnicas.



Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del DepartamentoGAC.

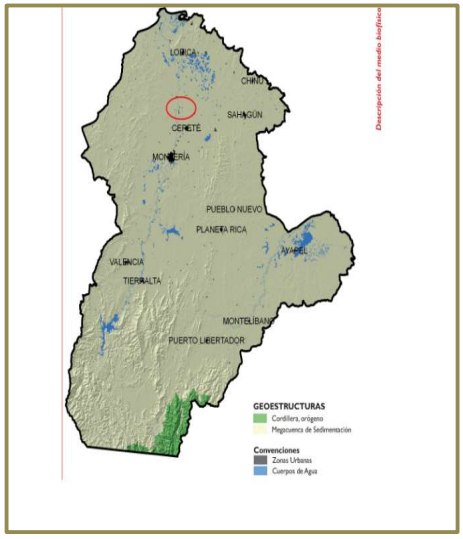
Comprende la cuenca del rio Sinú en el anticlinorio de Abibe, Las Palomas, hasta la línea de costa y se extiende hacia el norte formando el Anticlinorio de Turbaco. La zona se caracteriza por presentar estructuras geológicas radiales, constituidas por domos y colinas muy características. Muchos de estas formaciones están asociados con fenómenos de vulcanismo de lodo, generando anticlinales estrechos, separados entre sí por sinclinales amplios y suaves. Esta configuración

geológica refleja la dinámica tectónica de la región y su evolución histórica.

6.2.7. GEOESTRUCTURÁS Y AMBIENTE MORFOMÉTRICO

A Nivel regional, en Córdoba, se aprecian dos grandes geoestructurás La cordillera y la Megacuenca de Sedimentación. San Pelayo se encuentra en la Megacuenca de Sedimentación, esta se encuentra al norte y occidente de la Cordillera y se extiende hasta el mar caribe, cubriendo 23.788.87 Km2, lo que equivale al 95.4% del territorio departamental En esta estructura geográfica se distinguen dos principales unidades: la primera comprende un sistema de colinas, piedemontes y parte de las montañas, abarcando un área de 16.412 km2. Estas características se encuentran en los flancos y la parte centro-sur del departamento, correspondiendo geográficamente a las terminaciones de las cordilleras mencionadas anteriormente. La segunda unidad corresponde a la región centro-norte del departamento, caracterizada por extensas llanuras que cubren un área de 7.376 km2; el resto del territorio está ocupado por cuerpos de agua y áreas urbanizadas (Ver Ilustración 9).

Ilustración 9. Mapa geoestructurás de Córdoba.

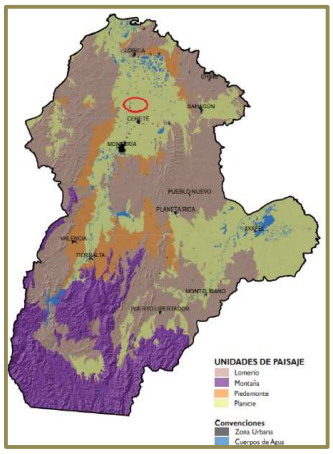


Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento IGAC.

En esta estructura geográfica se distinguen dos principales unidades: la primera comprende un sistema de colinas, piedemontes y parte de las montañas, abarcando un área de 16.412 km2. Estas características se encuentran en los flancos y la parte centro-sur del departamento, correspondiendo geográficamente a las terminaciones de las cordilleras mencionadas anteriormente. La segunda unidad corresponde a la región centro-norte del

departamento, caracterizada por extensas llanuras que cubren un área de 7.376 km2; el resto del territorio está ocupado por cuerpos de agua y áreas urbanizadas (Ver Ilustración 10).

Ilustración 10. Mapa de geomorfología del departamento de Córdoba.



Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento IGAC.

El municipio presenta una unidad de paisaje de planicie la cual se encuentra asociada al hidrograma del rio Sinú.

El paisaje de Planicie es una geoforma agradacional caracterizada por ser una zona amplia y plana a ligeramente plana, cuyas pendientes son menores de 3%. Corresponde a los diferentes aportes de origen aluvial, marino o eólico.

La Megacuenca está compuesta por rocas sedimentarias continentales y marinas que datan del Cretáceo-Neógeno, junto con amplios depósitos del Cuaternario, de naturaleza aluvial, fluvio-lacustre, fluvio-marina y marina. Esta combinación da lugar a un entorno morfogenético deposicional.

7. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto corresponde a la recuperación ambiental y de la conectividad hidrológica de un tramo del Caño El Bien Común, localizado en el corregimiento de La Madera, jurisdicción del municipio de San Pelayo, departamento de Córdoba.

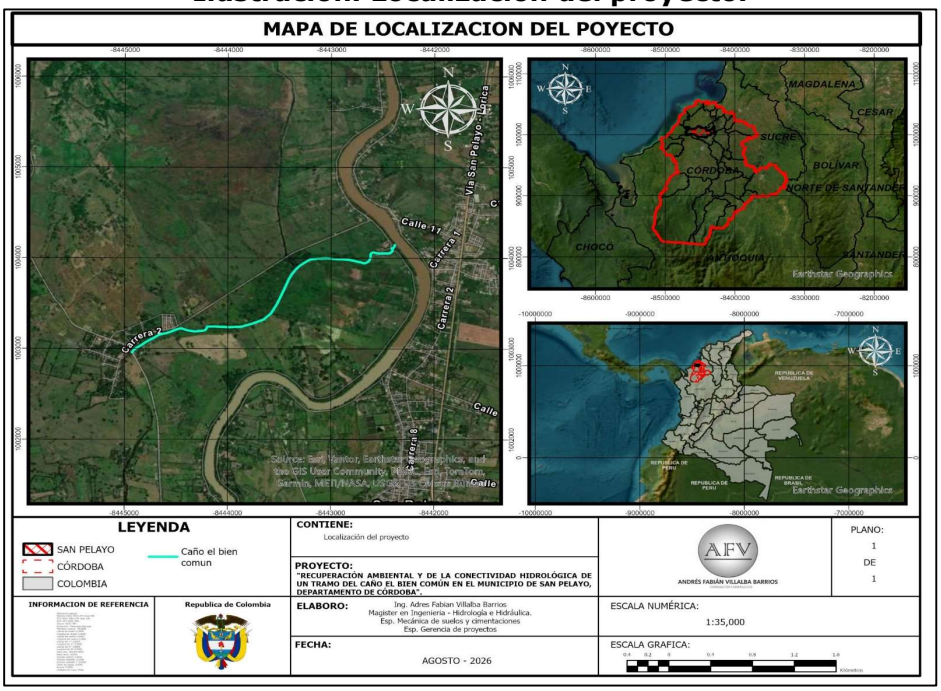
La localización general del proyecto se presenta en la Ilustración 3, en la cual se identifica el tramo del Caño El Bien Común objeto de estudio dentro del municipio de San Pelayo. Las coordenadas geográficas que delimitan el sector de intervención se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Geoposicionamiento.

Geoposicionamiento			
Municipio	Proyecto	Latitud	Longitud
San Pelayo	Recuperación hídrica	8°58'34.85"N	75°51'0.80"O

Fuente: Elaborado por la presente consultoría, Excel.

Ilustración. Localización del proyecto.



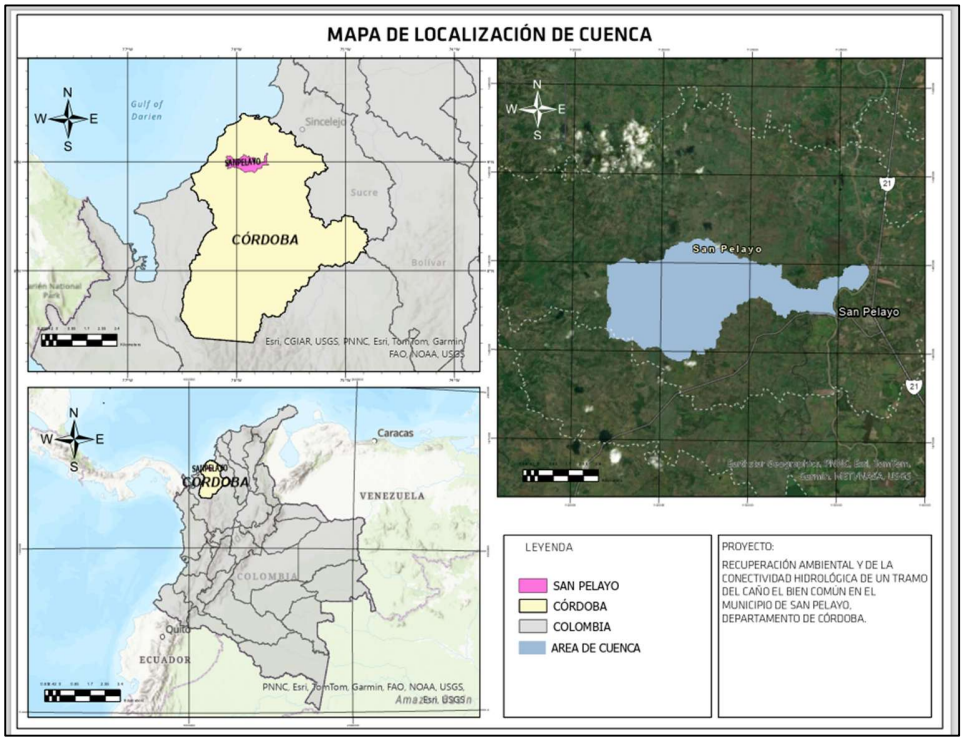
Fuente: Elaboración propia.

8. HIDROLOGÍA

Para el presente análisis, orientado a evaluar la posible acumulación de agua en el área de estudio, se identifica la presencia de un cauce natural registrado dentro de los drenajes consignados en la cartografía oficial del IGAC. La presencia de este drenaje evidencia una zona asociada a la conducción de escorrentías superficiales dentro del área de influencia del proyecto.

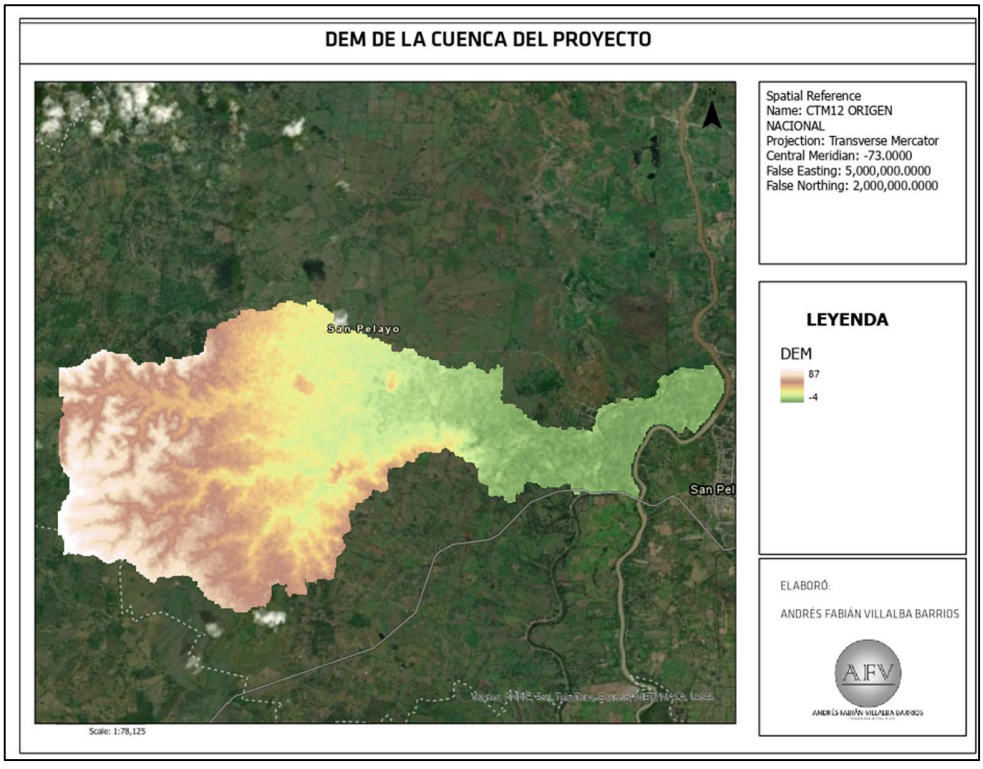
En este contexto, el comportamiento hídrico del sector está condicionado por la escorrentía pluvial, la pendiente natural del terreno, las depresiones topográficas, la cobertura vegetal y la capacidad de infiltración del suelo. Estos factores controlan la dirección del flujo superficial, el transporte temporal de caudales y las zonas potenciales de acumulación de agua dentro del área de estudio. La delimitación de la cuenca hidrográfica asociada se presenta en la Ilustración 11.

Ilustración 11. Cuenca hidrográfica del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 12. Modelo digital de elevaciones cuenca hidrográfica del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

8.1. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICOS

En hidrología, la morfometría corresponde al análisis cuantitativo de la forma y características físicas de una cuenca hidrográfica. Para este estudio, el análisis se fundamentó en la integración de información cartográfica del IGAC y modelos digitales de elevación (DEM), permitiendo una delimitación precisa de la cuenca. Como insumo de alta precisión para el área de intervención, se empleó un DEM derivado del levantamiento topográfico.

Este insumo se complementó con datos del sensor satelital ALOS PALSAR para caracterizar las áreas provenientes de cotas superiores del terreno, garantizando una representación altimétrica consistente para el cálculo de parámetros hidrológicos.

Las especificaciones técnicas de estos insumos se detallan a continuación en la Tabla 2:

Tabla 2. Especificaciones DEM.

Insumo	Fuente / Sensor	Resolución	Finalidad
DEM Local	Levantamiento Topográfico	1 m	Análisis del drenaje en la
DEM Regional	Satélite ALOS PALSAR	12,5 m	Delimitación de cuenca y análisis de áreas superiores
Sistema de Ref.	MAGNA-SIRGAS Origen Nacional	N/A	Georreferenciación

Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 12, el Modelo Digital de Elevación (DEM) de la cuenca del proyecto fue generado de la información del satélite ALOS PALSAR, con el fin de representar de manera integral las condiciones.

8.1.1. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA

El análisis morfométrico permite cuantificar las características físicas y geométricas de una cuenca hidrográfica, proporcionando una base objetiva para evaluar su comportamiento hidrológico. Mediante estos parámetros es posible interpretar la eficiencia del drenaje, la tendencia a concentrar caudales, la susceptibilidad a crecidas y la dinámica interna de la escorrentía superficial. La morfometría, por tanto, constituye un insumo fundamental para estudios hidrológicos, hidráulicos, ambientales y de planificación territorial.

Los parámetros morfométricos se agrupan comúnmente en:

- Parámetros físicos, que describen dimensiones básicas de la cuenca.
- Parámetros de forma, que permiten comparar la geometría de la cuenca con figuras estándar.
- Parámetros de relieve, que caracterizan su comportamiento altitudinal y estructural.

PARÁMETROS FÍSICOS

- **Área de drenaje de la cuenca**

Es la proyección horizontal del área "A" en km² que aporta escorrentía hacia un mismo cauce natural. Se delimita siguiendo la divisoria de aguas, la cual une los puntos más altos que separan cuencas vecinas.
Su definición obedece a reglas como: seguir líneas de cumbre, mantener trazos perpendiculares a las curvas de nivel y evitar la intercepción de cauces naturales.

- **Perímetro de la cuenca**

Corresponde a la longitud total de la línea divisoria en metros "m" que encierra el área de la cuenca. Este parámetro es necesario para el cálculo de índices derivados como la compacidad y forma.

- **Longitud recta de la cuenca (L)**

Es la distancia medida en línea recta desde el punto de cierre de la cuenca hasta el extremo más alejado de la misma, en sentido paralelo al cauce principal medida en metros "m".

- **Ancho de la cuenca**

Se define como la relación entre el área de la cuenca y su longitud recta:

$$w = \frac{A_c}{L}$$

Ecuación 1. Ancho de cuenca

Donde:
W: Ancho medio de la cuenca km.
A_c: Área de drenaje de la cuenca km^2.
L: Longitud principal de la cuenca km.

PARÁMETROS DE FORMA

Los parámetros de forma permiten identificar la geometría de la cuenca y su relación con la concentración de escorrentía. Cuencas circulares tienden a producir crecientes rápidos, cuencas alargadas presentan respuestas más atenuadas.

- **índice de compacidad o índice de Gravelius (K_c)**

Es un parámetro adimensional que compara el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de igual área. Su expresión es:

$$K_c = \frac{P}{2\pi(\frac{A_c}{\pi})^{1/2}}$$

Ecuación 2. Índice de compacidad

Donde:

- **K_c**: Índice de compacidad de la cuenca (adimensional).
- **P**: Perímetro de la cuenca km.
- **Ac**: Área de drenaje de la cuenca km^2.
- **π**: Constante matemática (≈ 3,1416).

Tabla 3. Clasificación del índice de compacidad.

Clase	Rango	Descripción
K_c1	1 – 1,25	Cuenca casi redonda – oval redonda
K_c2	1,25 – 1,5	Cuenca oval – oblonga
K_c3	> 1,5	Cuenca oval – rectangular oblonga

Fuente. Londoño Arango (2001).

Factor de forma (Kf)

Tabla 4. Clasificación del factor de forma.

K_f	Características
< 1	Cuenca alargada, baja tendencia a avenidas
1	Cuenca cuadrada
> 1	Cuenca achatada, mayor tendencia a avenidas

Fuente. Londoño Arango (2001).

Relación propuesta por Gravelius que evalúa la tendencia a avenidas mediante:

$$K_f = \frac{A_c}{L^2}$$

Ecuación 3. Factor de forma

Donde:

- K_f : Factor de forma de la cuenca (adimensional).
- **Ac**: Área de drenaje de la cuenca km^2.
- **L**: Longitud principal de la cuenca km.

Índice de alargamiento (I_a)

Determina si la cuenca presenta una forma alargada o achatada:

$$I_A = \frac{L}{A_n}$$

Ecuación 4. Índice de alargamiento

Donde:

- **I_A**: Índice de alargamiento de la cuenca (adimensional).
- **L**: Longitud principal de la cuenca km.
- **An**: Ancho medio de la cuenca km.

Tabla 5. Clasificación del índice de alargamiento.

I_A	Característica
IA > 1	Cuenca alargada
IA < 1	Cuenca achatada

Fuente. Londoño Arango (2001).

Índice asimétrico (I_{AS})

Evalúa la distribución del drenaje entre la vertiente mayor y la menor de la cuenca:

$$I_{AS} = \frac{A_{mayor}}{A_{menor}}$$

Ecuación 5. Índice asimétrico

Donde:

- **I_{AS}**: Índice asimétrico de la cuenca (adimensional).
- **A_{mayor}**: Área del sector de mayor extensión de la cuenca km^2.
- **A_{menor}:** Área del sector de menor extensión de la cuenca km^2.

Tabla 6. Clasificación del índice asimétrico.

I_{AS}	Característica
$I_{AS} > 1$	Cauce recargado hacia una vertiente
$I_{AS} = 1$	Distribución uniforme del drenaje

Fuente. Londoño Arango (2001).

PARÁMETROS DE RELIEVE DE LA CUENCA
Pendiente media de la cuenca

Representa la inclinación promedio del terreno, la cual influye directamente en la velocidad de la escorrentía, el transporte de sedimentos y la formación de crecidas. Se calcula mediante:

$$S_m = \frac{L \cdot D}{A}$$

Ecuación 6. Pendiente media de la cuenca

Donde:

- S_m= pendiente media de la cuenca.
- **L:** longitud total de curvas de nivel.

- **D:** diferencia altitudinal entre curvas.
- **A:** área de la cuenca.

Elevación media de la cuenca (H*media*)

Es la altitud promedio ponderada por área dentro de la cuenca y se obtiene mediante la función hipsométrica:

$$H_{media} = \frac{\sum(Área_i \cdot Elev_i)}{\sum Área_i}$$

Ecuación 7. elevación media de la cuenca

Donde:

- **H*media***: Elevación media de la cuenca m.
- **Área**$_i$: Área parcial correspondiente a cada intervalo o zona altimétrica km^2..
- **Elev**$_i$: Elevación representativa de cada intervalo o zona m.
- **Σ**: Sumatoria de los valores considerados.

8.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE DRENAJE

Longitud del cauce (L)

Se define como la distancia medida a lo largo del drenaje principal desde su punto de nacimiento hasta su punto de salida. Este parámetro mantiene una relación directa con el área de drenaje y con los tiempos de respuesta hidrológica, dado que cauces más largos tienden a producir ondas de crecida más atenuadas y mayores tiempos de desplazamiento del flujo.

Perfil del cauce

Representa la variación altitudinal del drenaje principal y suele mostrar una forma cóncava hacia arriba, con pendientes altas en la parte superior y pendientes menores hacia el nivel de base. Esta configuración controla los procesos erosivos, la dinámica de transporte de sedimentos y la estabilidad del canal.

Pendiente media del cauce

Se obtiene de la relación entre el desnivel total y la longitud del cauce. Este parámetro expresa la inclinación general del drenaje y condiciona la velocidad del flujo, la capacidad erosiva y el régimen hidrodinámico del río. Cauces con fuertes pendientes presentan mayor energía y transporte de sedimentos, mientras que cauces con pendientes suaves favorecen procesos de deposición y mayor sinuosidad.

8.1.3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC)

El tiempo de concentración constituye uno de los parámetros fundamentales en la hidrología de cuencas, ya que permite estimar cuánto tarda el agua procedente del punto más distante del área de drenaje en alcanzar la corriente principal o el punto de salida de la cuenca. En esencia, representa el periodo requerido para que toda la cuenca comience a contribuir de manera simultánea al caudal superficial generado por un evento de lluvia.

Este parámetro es determinante en la modelación hidrológica, pues define el intervalo a partir del cual la escorrentía alcanza su condición de aporte máximo, influenciando directamente la forma y magnitud del hidrograma de salida. Un tiempo de concentración menor indica que la respuesta hidrológica es rápida, característica de cuencas pequeñas, pendientes pronunciadas o coberturas con baja infiltración. Por el contrario, un tiempo de concentración mayor sugiere una respuesta más lenta, asociada a cuencas extensas, topografías suaves o coberturas que favorecen la infiltración y retención de agua.

Ecuación de Kirpich

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

Ecuación 8. Ecuación de Kirpich

Donde:

T_c: Tiempo de concentración (h).
L: Longitud del cauce principal (km).
S: Pendiente total del cauce principal (m/m).

Ecuación de Témez

$$Tc = 0.30\left(\frac{L^{0.76}}{S^{0.25}}\right)$$

Ecuación 9. Ecuación de Témez

Donde:

T_c: Tiempo de concentración (h).
L: Longitud del cauce principal (km).
S: Pendiente total del cauce principal (%).

Ecuación de Johnstone y Cross

$$Tc = 2.6\left(\frac{L^{0.5}}{S^{0.5}}\right)$$

Ecuación 10. Ecuación de Johnstone y Cross.

Donde:

T_c: Tiempo de concentración (h).

L: Longitud del cauce principal (km).
S: Pendiente total del cauce principal (m/km).

Ecuación de Giandotti

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.50\,L}{25.3\sqrt{L\,S}}$$

Ecuación 11. Ecuación de Giandotti

Donde:
T_c: Tiempo de concentración (h).
A: Área de la cuenca (km²).
L: Longitud del cauce principal (km).
S: Pendiente del cauce principal (m/m).

Ecuación SCS – Ransner

$$Tc = 0.947\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Ecuación 12. Ecuación SCS – Ransner

Donde:
T_c: Tiempo de concentración (h).
L: Longitud del cauce principal (km).
H: Diferencia de cotas entre los puntos extremos del cauce (m).

Ecuación de Ventura – Heras

$$Tc = 0.30\left(\frac{L^{0.75}}{S^{0.25}}\right)$$

Ecuación 13. Ecuación de Ventura – Heras

Donde:
T_c: Tiempo de concentración (h).
L: Longitud del cauce principal (km).
S: Pendiente total del cauce principal (%).

Ecuación de V. T. Chow

$$Tc = 0.273\left(\frac{L^{0.64}}{S^{0.5}}\right)$$

Ecuación 14. Ecuación de V. T. Chow

Donde:
T_c: Tiempo de concentración (h).

L: Longitud del cauce principal (km).
S: Pendiente total del cauce principal (m/m).

Tabla 7. Datos morfométricos.

Morfometría											
Cuenca	A(km²)	Método	P(m)	Lc (m)	Elev max	Elev min	Diámetro cuenca (km)	Densidad de drenaje (km/km²)	Índice de gravelius	Factor de forma	S(%)
C1	50.916	SCS	59564.16	16850.00	87.00	-4.00	8.05	0.33	2.34	0.18	5.51%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Tiempos de concentración.

CUENCA	L. Cauce (km)	S (m/m)	Área Total (km²)	Kirpich (min)	Témez (min)	Williams Li y Chibber	Johnstone y Cross (min)	Giandotti (min)	Ventura Heras (min)	V.T. Chow (min)	Tc Selec (min)
C1	16.85	0.055	50.91	106.82	111.34	269.61	235.04	132.46	108.71	252.45	173.78

Fuente: Elaboración propia.

Para la cuenca C1 se calcularon los tiempos de concentración mediante diferentes metodologías empíricas, obteniéndose valores comprendidos entre 106.82 min y 269.61 min. A partir del análisis de los resultados obtenidos y considerando la variabilidad propia de los métodos empleados, se adoptó para el diseño hidráulico un tiempo de concentración de 175 min, valor que representa una condición conservadora dentro del rango calculado y permite garantizar una adecuada representación de la respuesta hidrológica de la cuenca.

8.2. TIPOS DE SUELOS Y COBERTURAS

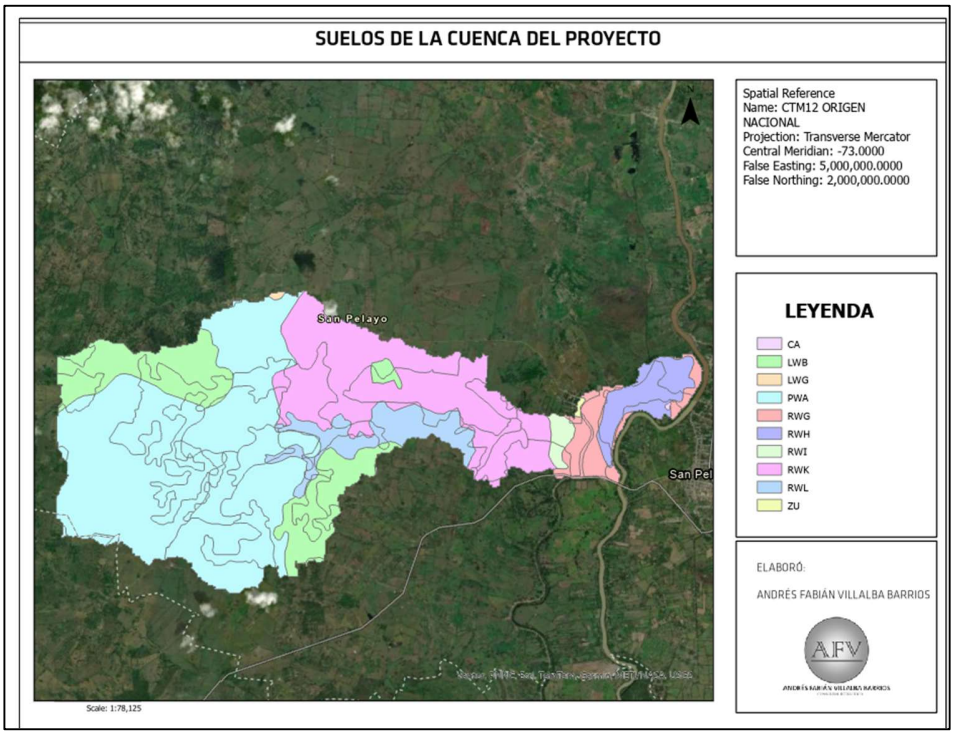
Para la caracterización de los suelos presentes en el área de estudio se analizaron variables fundamentales como la textura, la estructura, la profundidad efectiva y el tipo de cobertura vegetal asociada. Estos elementos permiten comprender la capacidad del suelo para infiltrar, retener y transmitir agua, procesos determinantes para el comportamiento hidrológico de la cuenca.
Como insumo base se utilizó la clasificación general de suelos y la zonificación de tierras del departamento, la cual ofrece una visión regional de las propiedades físicas, las unidades edáficas predominantes y las aptitudes del terreno. Esta información permitió identificar los principales grupos texturales, así como las coberturas existentes y su nivel de intervención antrópica.
La integración de estos elementos posibilitó establecer una aproximación

adecuada a las condiciones edáficas del área del proyecto, constituyendo un soporte técnico esencial para la estimación de parámetros hidrológicos.

De esta manera, los tipos de suelo y las coberturas asociadas se convierten en componentes clave para la formulación del análisis hidrológico y la evaluación de la dinámica de escorrentía superficial en la zona de influencia.

A continuación, se presentan las principales unidades identificadas, las cuales fueron clasificadas con base en criterios de clima, litología, morfología del relieve y propiedades físicas del suelo tomada del IGAC. La Tabla 9 resume estas unidades y sus características, mientras que la Ilustración 13 muestra su distribución espacial dentro de la zona de estudio.

Ilustración 13. Mapa general de suelos de zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Características de los suelos de la zona de estudio.

Ucs	Clima	Tipo de relieve	Litología	Características	Clasificación SUCS Inferida
CA	Cálido seco	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua
ZU	Zona urbana	Zona urbana	Zona urbana	Zona urbana	SM
LWB	Cálido seco	Lomas y colinas	Arcillolitas con intercalaciones de areniscas y	Superficiales a profundos, texturas moderadamente finas con sustrato fino, drenaje natural moderado a	CL

Ucs	Clima	Tipo de relieve	Litología	Características	Clasificación SUCS Inferida
			materiales calcáreos	excesivo, fertilidad moderada y erosión ligera a severa	
RWH	Cálido seco	Plano de inundación	Sedimentos finos	Muy superficiales, texturas finas, inundaciones frecuentes regulares, drenaje natural pobre a muy pobre, algunos sectores bajos con problemas de salinidad, fertilidad alta a baja	CH
LWG	Cálido seco	Vallecitos aluvio-coluviales	Sedimentos finos, heterogéneos	Superficiales y profundos, texturas moderadamente finas y finas, encharcamientos e inundaciones regulares, drenaje natural pobre a moderado, fertilidad moderada a alta	CL
RWL	Cálido seco	Terrazas	Sedimentos finos y muy finos	Moderadamente profundos, texturas finas, encharcables, drenaje natural imperfecto, fertilidad alta y moderada	CL
RWI	Cálido seco	Plano de inundación	Sedimentos medios y finos	Superficiales y moderadamente profundos, texturas moderadamente finas y finas, sometidos a inundaciones frecuentes, drenaje natural muy pobre a moderado, fertilidad alta	CL

Fuente: Elaboración propia.

La cobertura de la tierra influye directamente en el proceso lluvia–escorrentía, ya que condiciona la infiltración, la evaporación, la retención superficial y la generación de escorrentía. Para su análisis en la zona de estudio se utilizó el mapa de cobertura de la tierra elaborado por el IDEAM, como insumo para caracterizar el comportamiento hidrológico del terreno.

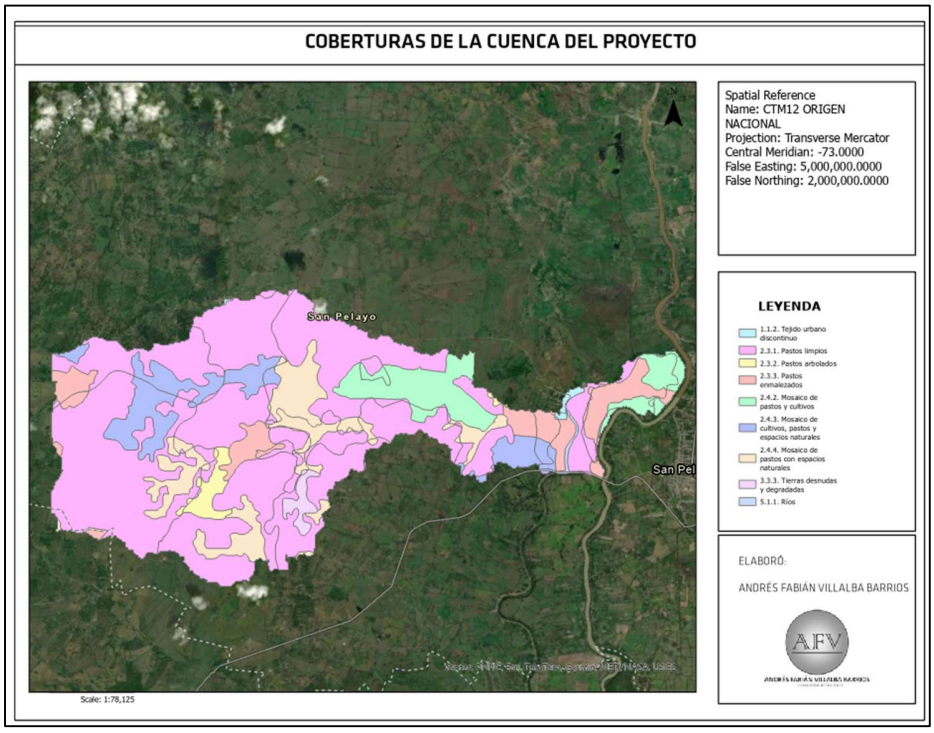
En la Ilustración 14 se presenta el mapa de coberturas de la tierra de la zona de estudio, el cual sirve como insumo para la caracterización hidrológica y la asignación de parámetros en el modelado correspondiente.

Tabla 10. Cobertura y uso de la tierra.

COBERTURA
1.1.2. Tejido urbano discontinuo
2.3.1. Pastos limpios
2.3.2. Pastos arbolados
2.3.3. Pastos enmalezados
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
5.1.1. Ríos

Fuente: Elaboración propia.

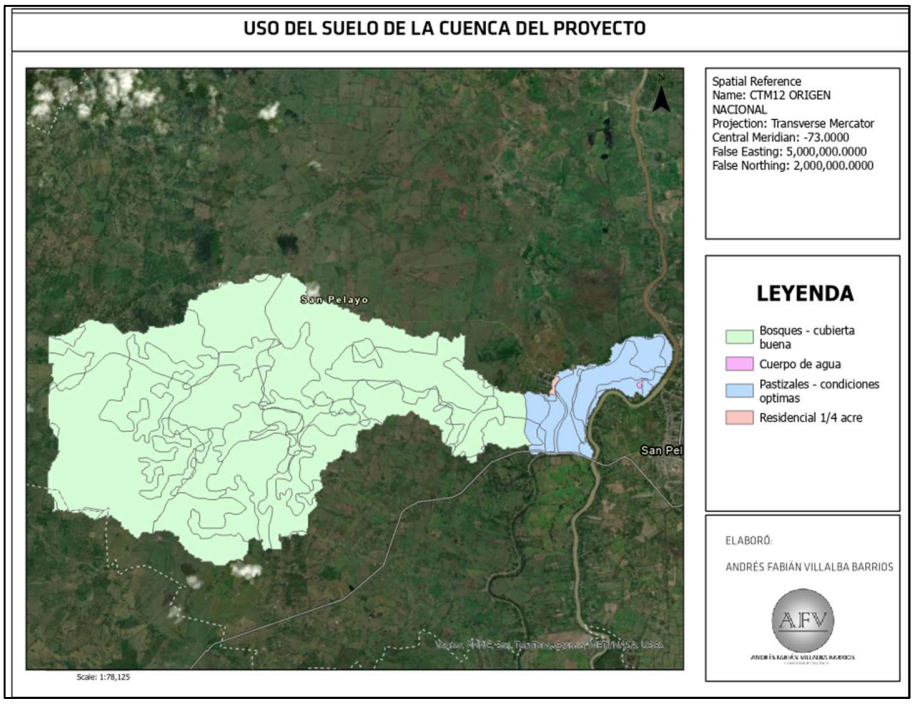
Ilustración 14. Mapa de coberturas en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

8.2.1. NUMERO DE LA CURVA "CN".

Ilustración 15. Mapa de uso de la tierra.



Fuente: Elaboración propia

Con base en la clasificación hidrológica de los suelos y en la caracterización de las coberturas de la tierra identificadas en la cuenca de estudio, se procede a la determinación del Número de Curva (CN), parámetro fundamental para la estimación de la escorrentía superficial. Este valor integra el comportamiento hidrológico del suelo, el uso y manejo del territorio, así como las condiciones de humedad antecedente, permitiendo representar de manera más precisa la respuesta hidrológica de la cuenca frente a los eventos de precipitación.

La metodología del CN, desarrollada por el Soil Conservation Service (SCS), se basa en la capacidad del suelo para infiltrar agua y en el grado de impermeabilización asociado a cada cobertura. De esta forma, su cálculo requiere identificar adecuadamente los grupos hidrológicos del suelo (HSG) y asociarlos con los tipos de cobertura presentes, lo que posibilita asignar un valor de CN representativo para cada unidad homogénea dentro de la cuenca.

Los valores y numero de curva fueron selección mediante las siguientes tablas:

Tabla 11. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2S)

Descripción del uso de la tierra	A	B	C	D
Tierra cultivada sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
Tierra cultivada con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales – condiciones pobres	68	79	86	89
Pastizales – condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos – condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques – troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
Bosques – cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas (césped, parques, campos de golf, cementerios) – condiciones óptimas (≥ 75 % cobertura)	39	61	74	80
Áreas abiertas (césped, parques, campos de golf, cementerios) – condiciones aceptables (50–75 % cobertura)	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)	81	88	91	93
Residencial – tamaño promedio del lote ≤ 1/8 acre (65 % impermeable)	77	85	90	92
Residencial – tamaño promedio del lote 1/4 acre (38 % impermeable)	61	75	83	87
Residencial – tamaño promedio del lote 1/3 acre (30 % impermeable)	57	72	81	86
Residencial – tamaño promedio del lote 1/2 acre (25 % impermeable)	54	70	80	85
Residencial – tamaño promedio del lote 1 acre (20 % impermeable)	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras pavimentadas con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98

Descripción del uso de la tierra	A	B	C	D
Calles y carreteras en grava	76	85	89	91
Calles y carreteras en tierra	72	82	87	89

Fuente: Hidrología aplicada, Ven Te Chow.

Tabla 12. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

Tabla 2.14.- Número de curva de escorrentía para áreas urbanas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

TIPO DE COBERTURA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA	% PROMEDIO ÁREAS IMPERMEABLES[1]	NUMERO DE CURVAS PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación ya establecida):					
Espacios abiertos (prados, parques, campos de golf, cementerios, etc.)[2]					
Condición pobre (menos del 50% cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular (del 50% al 75% cubierto de pasto)		49	69	79	84
Condición buena (más del 75% cubierto de pasto)		39	61	74	80
Áreas impermeables:					
Parqueaderos pavimentados, techos, autopistas, etc. (excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Calles y caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentados; zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Grava (incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Tierra (incluyendo derecho de vía)		72	82	87	89
Áreas desiertas urbanas:					
Paisajes desérticos naturales (solamente áreas permeables)[3]		63	77	85	88
Paisajes desérticos artificiales (barreras impermeables de maleza, arbustos de desierto con 1 a 2 pulg de diámetro; Cubierta de arena o grava y orillas de áreas húmedas)		96	96	96	96
Áreas urbanas:					
Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Áreas residenciales por promedio del tamaño del lote:					
1/8 de acre o menos (506 m^2 o menos)	65	77	85	90	92
1/4 acre (1012 m^2)	38	61	75	83	87
1/3 acre (1350 m^2)	30	57	72	81	86
1/2 acre (2025 m^2)	25	54	70	80	85
1 acre (4050 m^2)	20	51	68	79	84
2 acre (8100 m^2)	12	46	65	77	82
Áreas urbanas desarrolladas:					
Áreas permeables conformadas (solamente áreas permeables, sin vegetación)		77	86	91	94

Referencia: Monsalve S. Germán, "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999.

Fuente: Manual de Drenajes del Invias 2009

Tabla 13. Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

Tabla 2.15.- Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

COBERTURA		CONDICIÓN HIDROLÓGICA	GRUPO DE SUELOS			
USO DE LA TIERRA	TRATAMIENTO O PRÁCTICA		A	B	C	D
			NÚMERO DE CURVA			
Rastrojo	Hileras Rectas	---	77	86	91	94
Cultivos en hileras	Hileras Rectas	Mala	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en[1] hileras estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80

Referencia: Monsalve S. Germán, "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999.

Fuente: Manual de Drenajes del Invias 2009

Con base en la información anterior se obtiene el mapa de valores del número de la curva para la condición antecedente de humedad II o CN(II) del área del proyecto. A continuación, se muestran los resultados del proceso.

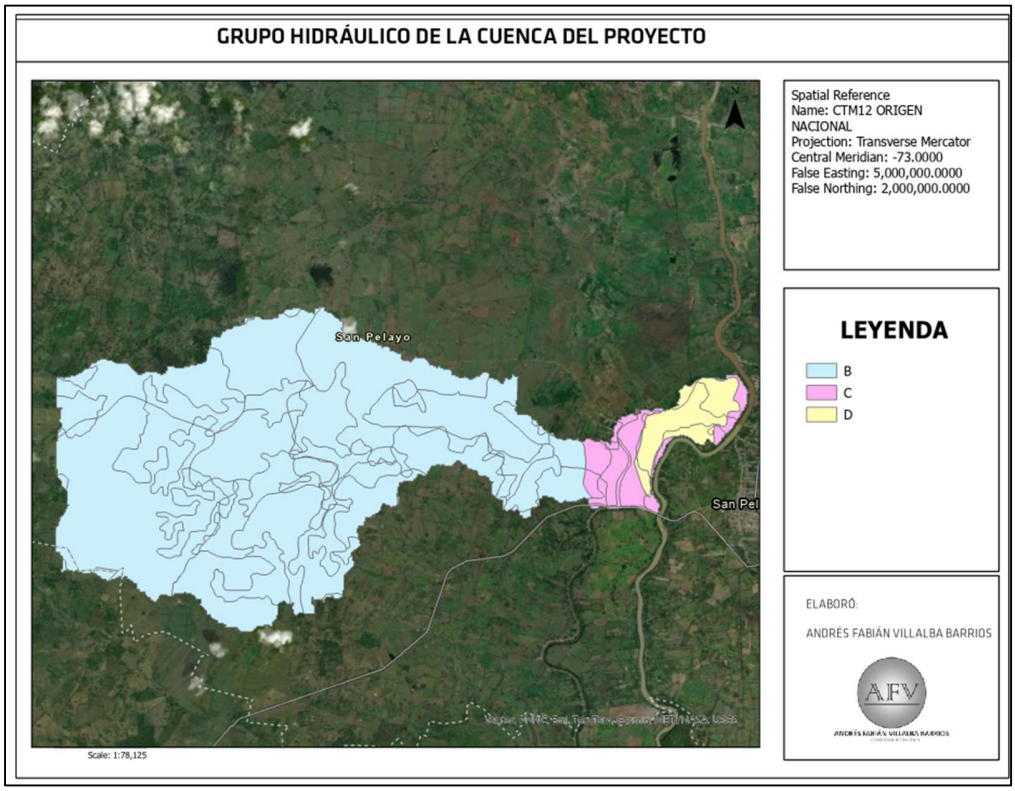
Tabla 14. Valores del número de la curva CN(II), ponderación.

Cuenca	C1	**$CN(II)_{ponderado}$**	56.79
Grupo Hidrologico	**Uso de tierra**	**CN(II)**	**A (km²)**
B	Bosques - cubierta buena	55	46.871363
C	Pastizales - condiciones optimas	74	1.797798
C	Residencial 1/4 acre	90	0.051186
D	Pastizales - condiciones optimas	80	2.179298
D	Cuerpo de agua	100	0.015911

Fuente: elaboración propia

Para el análisis del proyecto se adoptó la condición de humedad antecedente alta correspondiente al Número de Curva CN III, al considerarse que esta condición permite representar de manera adecuada el escenario hidrológico más exigente y técnicamente representativo para el área de estudio, en términos de respuesta de la cuenca ante eventos de precipitación.

Ilustración 16. Mapa de grupo hidráulico.



Fuente: elaboración propia

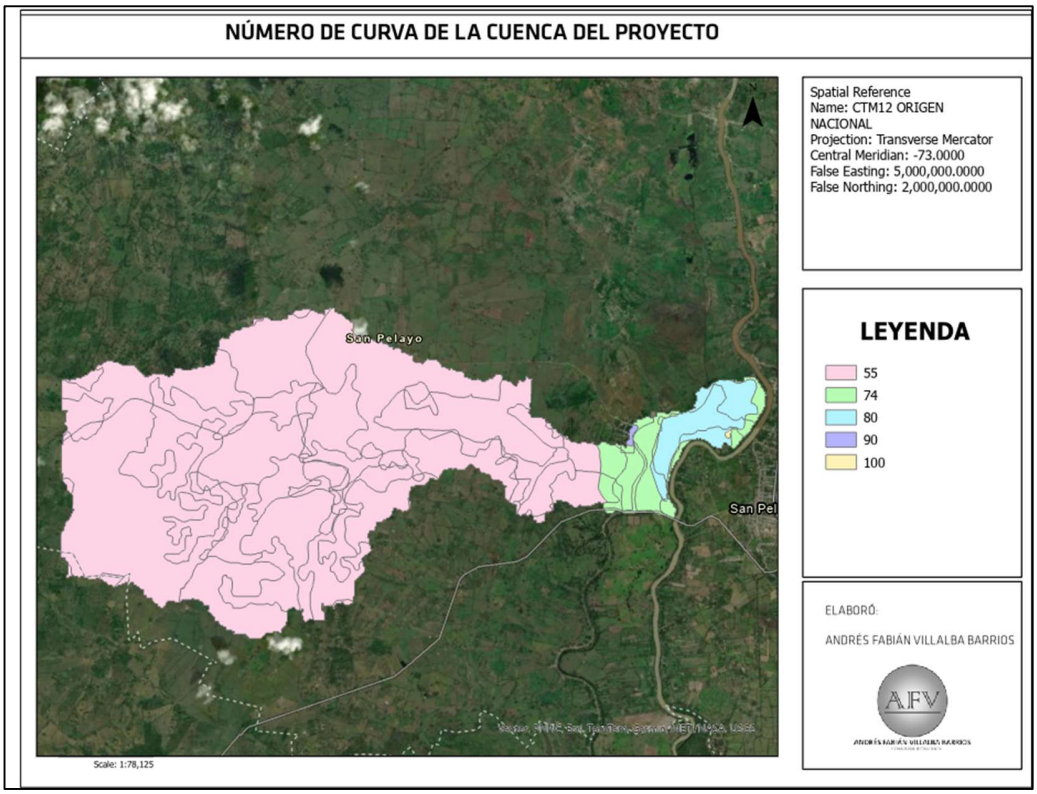
La selección de esta condición se fundamenta en un criterio de diseño orientado a evaluar la máxima generación de escorrentía posible dentro de rangos razonables, asegurando que los caudales estimados sean consistentes con apropiados para el dimensionamiento hidráulico del proyecto.
A continuación, se presenta el número de curva para la condición antecedente de humedad de diseño:

Tabla 15. Valores del número de la curva CN(III).

Numero de curva				
Cuenca	**A (km²)**	**S**	**Topografía**	**CN(II)$_{ponderado}$**
C1	50.916	5.51%	Ondulado	56.79

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 17. Mapa de numero de curva



Fuente: elaboración propia.

8.3. DATOS DE PRECIPITACIÓN

8.3.1. SELECCIÓN DE ESTACIÓN

Con el fin de analizar el comportamiento histórico de la precipitación en la zona a analizar, en el municipio de San Pelayo, departamento de Córdoba, se seleccionaron estaciones del catálogo nacional de estaciones del IDEAM

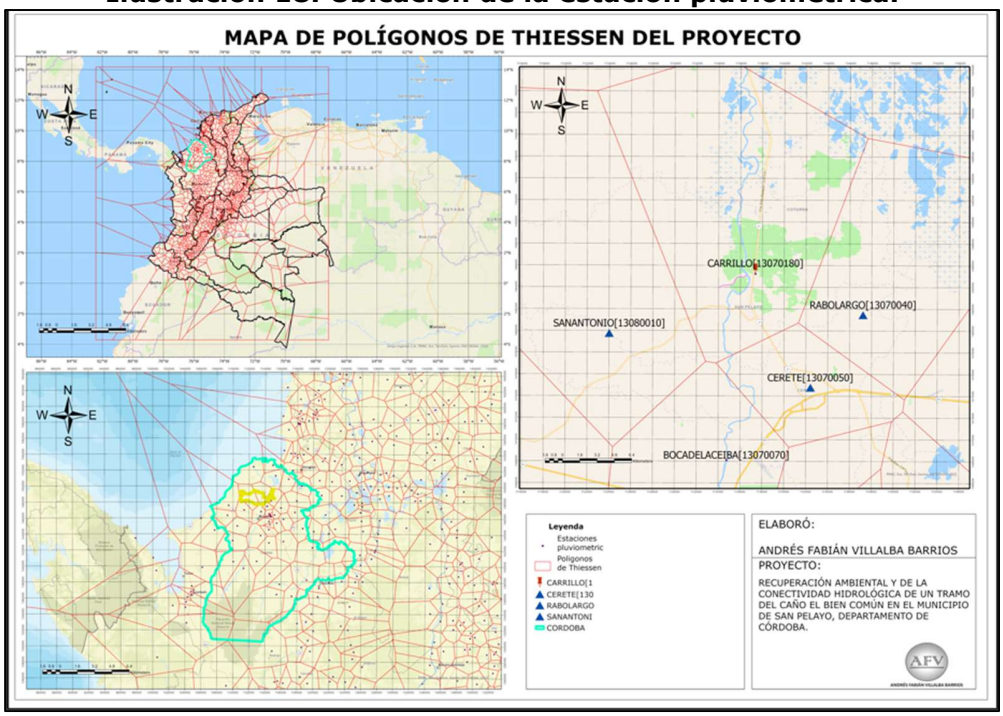
(Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), aplicando la metodología de los polígonos de Thiessen. Esta técnica permite determinar el área de influencia de cada estación dentro de una cuenca o zona de interés, lo que facilita calcular la intensidad de la precipitación para un determinado período de retorno.

Tabla 16. Estaciones para datos de precipitación.

ESTACIÓN	CÓDIGO	CATEGORÍA	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN	ESTADO
CARRILLO	[13070180]	PLUVIOMÉTRICA	8,98	-75,84	20	Activa
CERETE	[13070050]	PLUVIOMÉTRICA	8,89	-75,79	20	Activa
RABOLARGO	[13070040]	PLUVIOMÉTRICA	8,95	-75,74	19	Activa
SAN ANTONIO	[13080010]	PLUVIOMÉTRICA	8,94	-75,95	50	Activa

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 18. Ubicación de la estación pluviométrica.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Datos de la estación principal.

DATOS ESTACIÓN PRINCIPAL	
Código	13070180
Nombre	CARRILLO [13070180]
Categoría	Pluviométrica
Longitud	-75,83
Latitud	8,98
ALTITUD (m.s.n.m)	20,00
Departamento	Córdoba

DATOS ESTACIÓN PRINCIPAL	
Municipio	San Pelayo
Estado	Activa
Años de registro	29

Fuente: Elaboración propia.

DATOS DE OBTENIDOS DE LAS ESTACIONES

En la siguiente tabla se presenta la precipitación anual para cada estación y su precipitación anual acumulada.

Tabla 18. Datos de estaciones del IDEAM.

Año	CARRILLO [13070180]		CERETE [13070050]		RABOLARGO [13070040]		SAN ANTONIO [13080010]	
	TOTAL	TOTAL ACUMULADO	TOTAL	TOTAL ACUMULADO	TOTAL	TOTAL ACUMULADO	TOTAL	TOTAL ACUMULADO
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1997	592	592	600.1	600.1	542	542	826	826
1998	1207	1799	1341.7	1941.8	1554.5	2096.5	1754	2580
1999	1542	3341	1517	3458.8	2083	4179.5	683	3263
2000	889.31	4230.31	1375	4833.8	1246	5425.5	353	3616
2001	994	5224.31	1288	6121.8	1483	6908.5	1610	5226
2002	834	6058.31	1003.6	7125.4	1013.9	7922.4	1460	6686
2003	1318	7376.31	1443	8568.4	1606	9528.4	1568	8254
2004	949.32	8325.63	1110	9678.4	520.6	10049	1300	9554
2005	1708.9	10034.53	1787.2	11465.6	1749	11798	1800	11354
2006	1144.1	11178.63	638.8	12104.4	1338.1	13136.1	1597	12951
2007	1470.5	12649.13	2501.5	14605.9	1527	14663.1	1638.5	14589.5
2008	1480.2	14129.33	1847.7	16453.6	1590	16253.1	1920	16509.5
2009	1495.3	15624.63	1484.8	17938.4	1633.6	17886.7	1822	18331.5
2010	1516	17140.63	1803.1	19741.5	2041.1	19927.8	2214	20545.5
2011	1157.5	18298.13	945.8	20687.3	1807.1	21734.9	1866	22411.5
2012	1692.93	19991.06	1075.5	21762.8	2408	24142.9	2255	24666.5
2013	1084	21075.06	1048.7	22811.5	1441	25583.9	1463	26129.5
2014	980.76	22055.82	1051.7	23863.2	1349	26932.9	1698	27827.5
2015	816.95	22872.77	1118.3	24981.5	1184.1	28117	1329	29156.5
2016	908.6	23781.37	1135.46	26116.96	1285	29402	829.9	29986.4
2017	978.6	24759.97	1515.8	27632.76	1500	30902	1592	31578.4
2018	1177.8	25937.77	1042.1	28674.86	1135	32037	919	32497.4
2019	1166.1	27103.87	1137.5	29812.36	1199	33236	191.9	32689.3
2020	1197.4	28301.27	1320.3	31132.66	1425	34661	1128	33817.3
2021	915.5	29216.77	1433.3	32565.96	1323	35984	1329	35146.3
2022	1680	30896.77	1403.9	33969.86	1574	37558	1323	36469.3
2023	1476.37	32373.14	1071.7	35041.56	1388	38946	1099	37568.3
2024	1420	33793.14	998.5	36040.06	1351	40297	1014	38582.3
2025	1306.74	35099.89	1207.3	37247.36	148	40445	650	39232.3

Fuente: Elaboración propia.

8.3.2. ANALIS DOBLE MASA

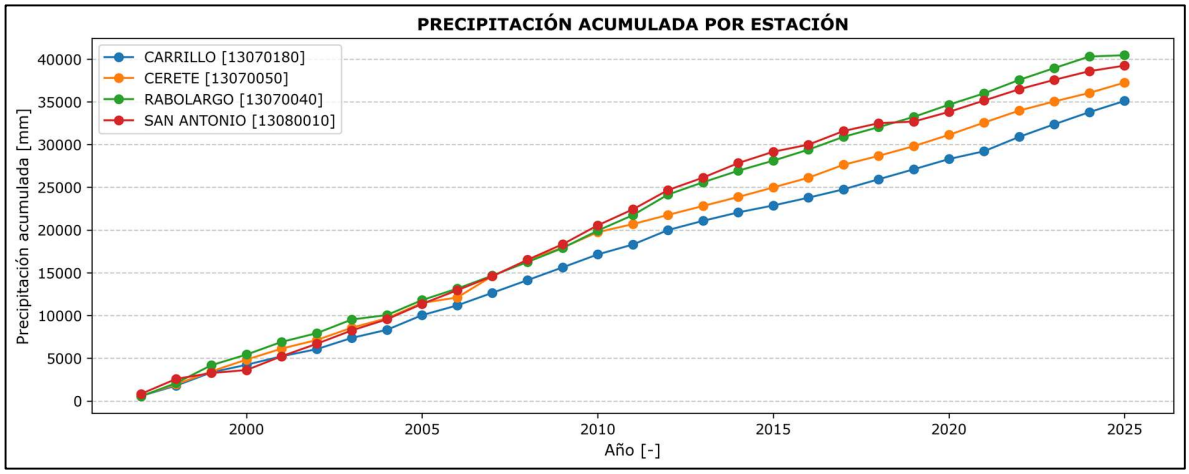
El análisis de doble masa constituye una metodología utilizada para evaluar la consistencia y homogeneidad de las series históricas de precipitación, permitiendo identificar posibles cambios en la tendencia de los registros

asociados a modificaciones en las condiciones de medición, traslado de estaciones, cambios en los instrumentos o alteraciones en el entorno de la estación.

La metodología consiste en comparar la precipitación acumulada de la estación de interés frente a la precipitación acumulada promedio de un conjunto de estaciones de referencia consideradas homogéneas y representativas de la zona de estudio. Para ello, se construye una gráfica de doble acumulación, donde el eje de las abscisas corresponde a la precipitación acumulada promedio de las estaciones de referencia y el eje de las ordenadas representa la precipitación acumulada de la estación analizada.

La consistencia de la serie se determina mediante la evaluación de la tendencia de los puntos acumulados. Una serie homogénea presenta una distribución aproximadamente lineal, sin cambios significativos en la pendiente de la curva. En caso de observarse quiebres o variaciones marcadas en la pendiente, se considera la posible presencia de inconsistencias, por lo que debe evaluarse la necesidad de aplicar factores de corrección.

Ilustración 19. Análisis de estaciones



Fuente: Elaboración propia.

Con el propósito de verificar la consistencia y homogeneidad de las series de precipitación utilizadas en el estudio, se realizó el análisis de doble masa considerando las estaciones Carrillo [13070180], Cerete [13070050], Rabolargo [13070040] y San Antonio [13080010]. La estación Carrillo [13070180] fue adoptada como estación principal, mientras que las demás estaciones fueron utilizadas como referencia para evaluar el comportamiento comparativo de los registros acumulados durante el periodo analizado.

Los resultados muestran que las series presentan un comportamiento acumulado con tendencia estable, sin cambios abruptos en la pendiente ni desviaciones significativas que evidencien inconsistencias o rupturas en la homogeneidad de los datos. En particular, la estación Carrillo mantiene una evolución coherente respecto a las estaciones de referencia, por lo cual sus registros de precipitación se consideran confiables y adecuados para ser empleados en los análisis hidrológicos posteriores sin requerir correcciones por inconsistencias detectadas mediante este procedimiento.

8.3.3. DATOS FALTANTES

Para garantizar la continuidad y calidad de las series históricas de precipitación, es necesario completar los periodos en los que se presentan datos faltantes. Una de las metodologías comúnmente utilizadas es el método de correlación múltiple ponderada, el cual permite estimar el valor faltante en una estación a partir de la información disponible en estaciones cercanas con comportamiento pluviométrico similar.

Este método se fundamenta en la relación estadística existente entre la estación a completar y un conjunto de estaciones auxiliares, incorporando además la precipitación media anual de cada una de ellas con el fin de ajustar las diferencias climatológicas propias de la región. La estimación del dato faltante se realiza mediante la siguiente expresión:

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

Ecuación 15. Datos faltantes de precipitación.

Donde:

- n: Número de estaciones pluviométricas con registros continuos disponibles y cercanas a la estación "x".
- P_x: Precipitación de la estación "x" durante el periodo a completar (mm).
- P_1 … P_n: Precipitación registrada en las estaciones auxiliares durante el mismo periodo(mm).
- N_x: Precipitación media anual o nivel multianual de la estación "x" (mm).
- N_1 … N_n: Precipitación media anual o nivel multianual de las estaciones auxiliares(mm)

El procedimiento supone que estaciones con características climáticas y

proximidad geográfica similar mantienen una relación proporcional en sus valores de precipitación, por lo que la ponderación mediante el cociente N_x/N_i permite corregir diferencias sistemáticas entre estaciones.

Es importante mencionar que, para garantizar la representatividad del proceso, se excluyen del análisis los años o estaciones que presentan un número elevado de datos faltantes o inconsistencias significativas. Con ello se asegura que la estimación obtenida sea confiable y acorde con el comportamiento meteorológico de la región.

8.3.4. PRECIPITACIÓN ANUAL

Para la realización de los cálculos posteriores se seleccionó la estación CARRILLO [13070180] como estación principal de análisis, dado que, tras la aplicación de los polígonos de Thiessen, se determinó que esta estación presenta la mayor representatividad espacial sobre el área de estudio.

La Tabla 14 presenta la información de precipitación correspondiente a la estación CARRILLO [13070180], organizada por año e integrada por dos variables hidrológicas relevantes: la precipitación máxima diaria, que representa el mayor evento de lluvia registrado en un solo día para cada año, y la precipitación total anual, que corresponde al volumen acumulado de lluvia a lo largo del año.

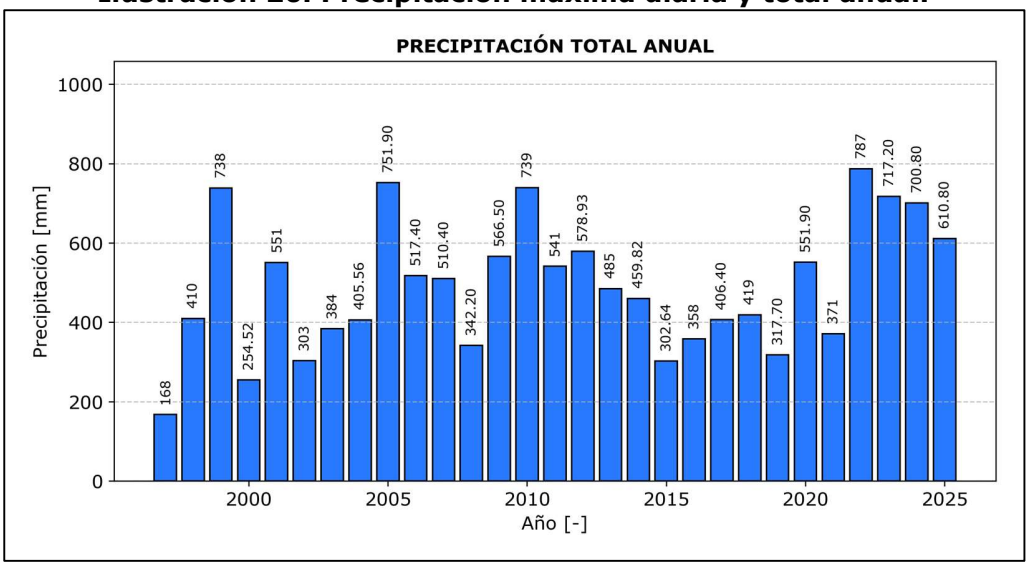
Tabla 19. Precipitación estación seleccionada.

Año	Precipitación máxima diaria	Precipitación total anual
[-]	[mm]	[mm]
1997	73.00	168.00
1998	66.00	410.00
1999	68.00	738.00
2000	41.00	254.52
2001	76.00	551.00
2002	74.00	303.00
2003	39.00	384.00
2004	46.00	405.56
2005	132.00	751.90
2006	102.00	517.40
2007	116.00	510.40
2008	65.00	342.20
2009	60.00	566.50
2010	77.00	739.00
2011	107.00	541.00
2012	75.00	578.93
2013	61.00	485.00
2014	80.00	459.82
2015	80.80	302.64
2016	58.70	358.00

Año	Precipitación máxima diaria	Precipitación total anual
[-]	[mm]	[mm]
2017	51.50	406.40
2018	36.40	419.00
2019	69.30	317.70
2020	82.80	551.90
2021	46.00	371.00
2022	113.00	787.00
2023	92.00	717.20
2024	90.40	700.80
2025	82.80	610.80

Fuente: Elaboración propia a partir de datos diarios pluviométricos del IDEAM.

Ilustración 20. Precipitación máxima diaria y total anual.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los registros analizados, la precipitación máxima diaria presenta un promedio de 74.54 mm y una mediana de 74.00 mm, valores cercanos entre sí que indican una distribución con poca diferencia entre la tendencia central media y la mediana. La desviación estándar obtenida es de 23.88 mm, evidenciando una variabilidad moderada en los eventos máximos diarios registrados durante el periodo evaluado. Los valores de precipitación máxima diaria presentan un mínimo de 36.40 mm y un máximo de 132.00 mm, correspondiente al mayor evento registrado dentro de la serie analizada.

En cuanto a la precipitación total anual, se obtuvo un promedio de 491.33 mm y una mediana de 485.00 mm, lo que refleja un comportamiento relativamente estable de los acumulados anuales. La desviación estándar de 165.40 mm evidencia una variabilidad interanual asociada a la dinámica natural de la precipitación en la zona de estudio. Los registros anuales varían entre un mínimo

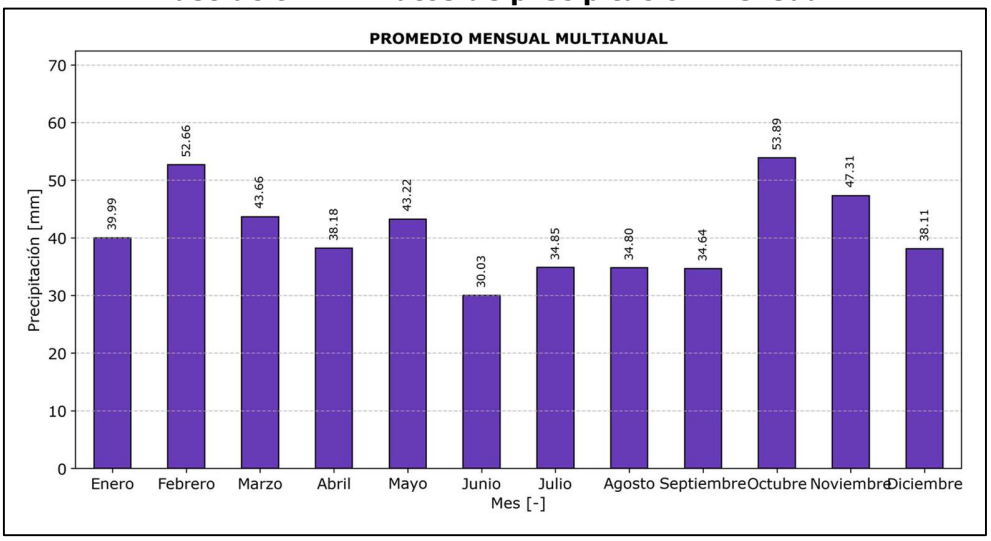
de 168.00 mm y un máximo de 787.00 mm, mostrando la presencia de años con menores acumulados y periodos con mayores aportes de precipitación durante la serie evaluada.

8.3.5. PRECIPITACIÓN MENSUAL

Los datos mensuales constituyen la base fundamental para el análisis hidrológico y climático, ya que permiten identificar el comportamiento temporal de las variables estudiadas, evaluar su variabilidad estacional y reconocer tendencias a mediano y largo plazo.

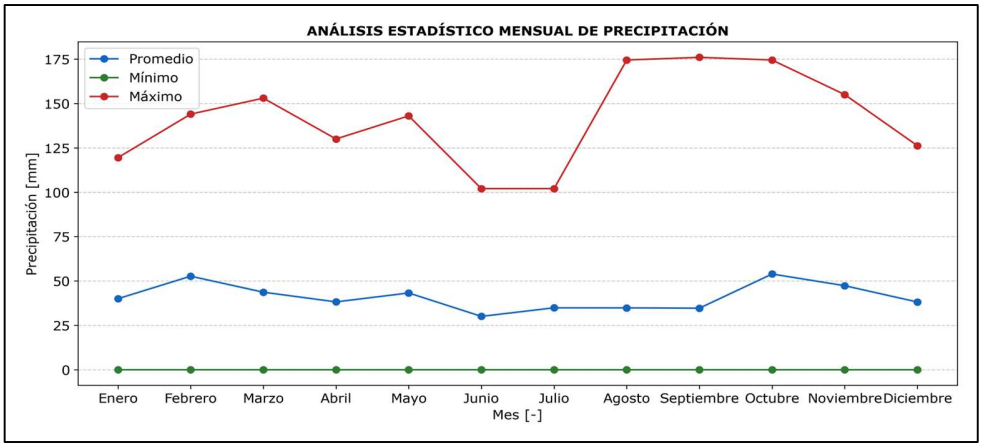
En este contexto, a continuación, se presenta la información mensual de precipitación organizada para la estación seleccionada.

Ilustración 21. Datos de precipitación mensual.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 22. Análisis estadístico mensual de la precipitación basado en registros históricos de estaciones IDEAM.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Datos de precipitación mensual.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1997	0.00	10.00	5.00	73.00	2.00	0.00	4.00	30.00	5.00	29.00	0.00	10.00
1998	15.00	60.00	113.00	27.00	34.00	0.00	86.00	11.00	20.00	28.00	5.00	11.00
1999	39.00	144.00	58.00	56.00	46.00	94.00	24.00	36.00	87.00	48.00	42.00	64.00
2000	16.00	44.93	64.57	2.00	25.93	10.00	42.78	0.00	5.31	17.00	12.00	14.00
2001	38.00	47.00	72.00	21.00	103.00	2.00	22.00	15.00	0.00	74.00	81.00	76.00
2002	0.00	88.00	8.00	21.00	16.00	20.00	19.00	50.00	8.00	26.00	47.00	0.00
2003	68.00	8.00	108.00	22.00	41.00	27.00	49.00	2.00	0.00	0.00	42.00	17.00
2004	12.00	112.00	3.00	49.00	52.00	4.00	43.00	2.00	19.00	49.00	58.00	2.56
2005	9.00	18.50	116.00	55.00	66.30	71.90	0.00	31.00	35.00	157.00	122.80	69.40
2006	118.00	23.00	11.00	0.00	74.30	102.00	11.00	39.80	0.00	40.00	34.30	64.00
2007	0.00	2.00	47.00	23.00	4.40	48.50	29.00	94.50	176.00	11.00	7.00	68.00
2008	23.90	79.30	10.00	13.00	0.00	14.00	47.00	33.00	20.00	98.00	0.00	4.00
2009	66.50	0.00	53.00	12.00	72.00	17.00	94.00	12.00	117.00	17.00	92.00	14.00
2010	33.50	133.00	75.00	43.00	143.00	0.00	19.00	174.50	1.00	33.00	36.00	48.00
2011	57.00	24.00	31.00	97.00	71.00	12.00	33.00	68.00	7.00	16.00	107.00	18.00
2012	48.00	6.00	106.00	45.00	69.93	5.00	14.00	121.00	0.00	71.00	10.00	83.00
2013	61.00	17.00	27.00	41.00	47.00	4.00	46.00	42.00	11.00	9.00	94.00	86.00
2014	60.00	62.00	14.00	9.00	8.00	5.00	102.00	25.00	16.00	57.50	84.00	17.32
2015	1.00	57.40	4.10	22.00	2.10	7.20	1.40	3.14	3.70	174.50	26.10	0.00
2016	6.10	33.70	16.40	5.00	9.00	17.90	6.40	31.60	94.70	67.20	36.20	33.80
2017	20.00	30.80	0.00	6.40	94.10	40.90	7.20	11.30	18.30	88.80	50.40	38.20
2018	22.50	67.50	16.30	12.10	55.10	9.80	10.80	25.50	45.20	83.80	14.30	56.10
2019	69.30	22.40	8.10	0.00	5.20	69.50	7.10	0.00	5.80	84.70	11.80	33.80
2020	26.10	90.30	6.00	82.10	11.50	18.10	8.40	12.60	121.20	51.80	105.90	17.90
2021	6.50	12.50	9.00	23.50	0.00	78.70	41.90	64.90	62.00	6.00	10.60	55.40
2022	87.00	9.00	153.00	111.00	70.00	35.00	8.00	16.00	50.00	48.00	155.00	45.00
2023	25.00	92.00	0.00	130.00	89.00	91.00	64.00	23.00	57.00	18.00	2.00	126.20
2024	119.50	142.00	27.30	56.80	20.00	22.50	96.00	27.70	17.00	100.30	67.60	4.10
2025	111.86	90.90	104.24	49.40	21.40	43.74	74.66	6.80	2.40	59.11	17.98	28.30

Fuente: Elaboración propia.

8.3.6. ANÁLISIS DE FRECUENCIA: PRECIPITACIÓN.

El análisis estadístico de los datos hidrológicos asociados al día pluviométrico máximo constituye una etapa fundamental para comprender el comportamiento de los eventos extremos y garantizar la adecuada estimación de los valores de diseño. Con este propósito, se evaluaron las principales distribuciones empleadas en estudios de frecuencia hidrológica —Gumbel, GEV y Pearson Tipo III— aplicando los métodos de estimación disponibles para cada una. En el caso de Gumbel y GEV se utilizaron los enfoques de máxima verosimilitud, método de momentos y método de momentos ponderados, mientras que para la distribución Pearson Tipo III se consideraron los métodos de máxima verosimilitud y momentos. La aplicación comparativa de estos modelos permite identificar cuál

de ellos reproduce con mayor coherencia la variabilidad estadística de la serie analizada y, en consecuencia, seleccionar el método más adecuado para la estimación de caudales extremos y periodos de retorno.

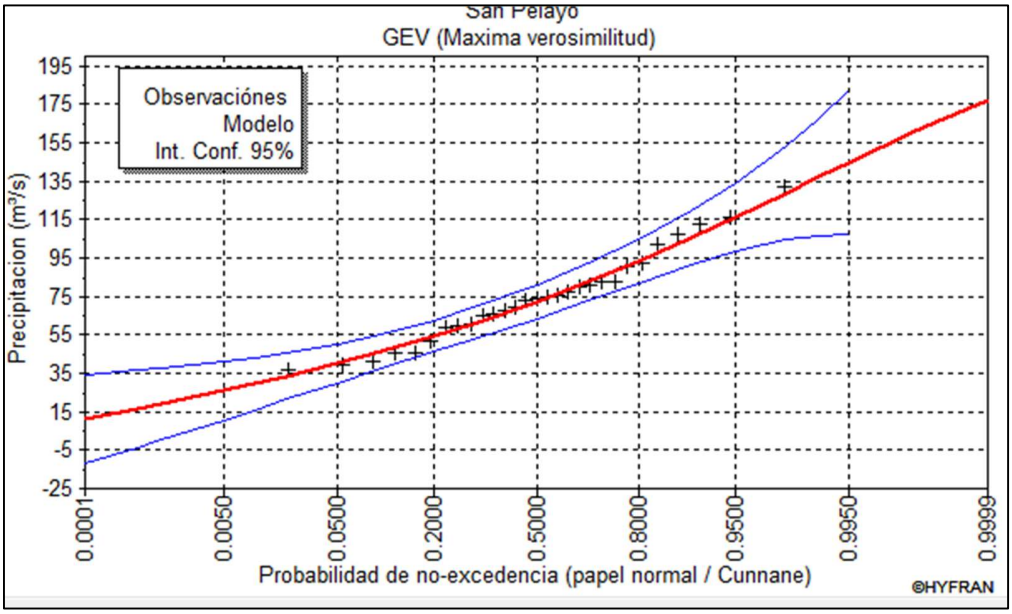
Para el ajuste de las distribuciones estadísticas se emplearon métodos de estimación de parámetros que permiten representar el comportamiento probabilístico de la serie de caudales. La máxima verosimilitud busca los parámetros que hacen más probable la representación de los datos observados; el método de momentos ajusta la distribución con base en la media, desviación estándar y asimetría de la serie; y el método de momentos ponderados corresponde a una variante usada en hidrología para eventos extremos, al considerar el ordenamiento de los datos y favorecer una estimación más estable.

8.3.6.1 GEV

La distribución de valores extremos generalizados (GEV) es esencial en el análisis estadístico de datos pluviométricos. Permite modelar eventos extremos, como lluvias intensas, estimar la probabilidad de ocurrencia y calcular valores de retorno para diversos periodos.

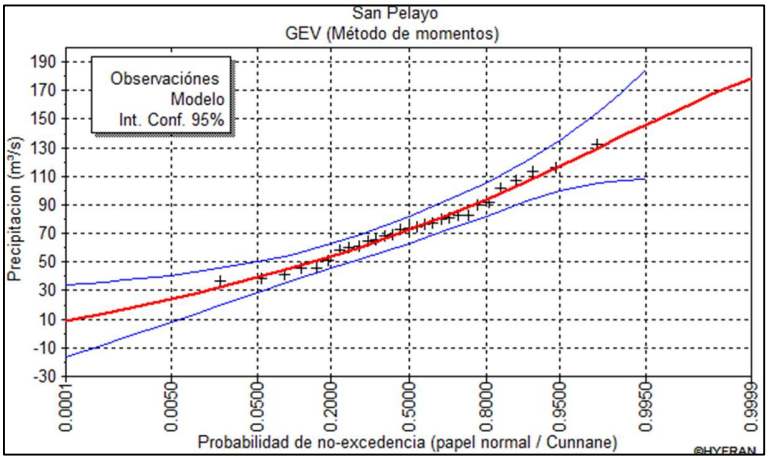
Su importancia radica en su capacidad para adaptarse a diferentes formas de distribuciones extremas, contribuyendo al diseño seguro de infraestructuras hidrológicas y a la gestión eficaz de riesgos de inundaciones en escenarios climáticos extremos.

Ilustración 23. Gráfico de GEV (Máxima verosimilitud).



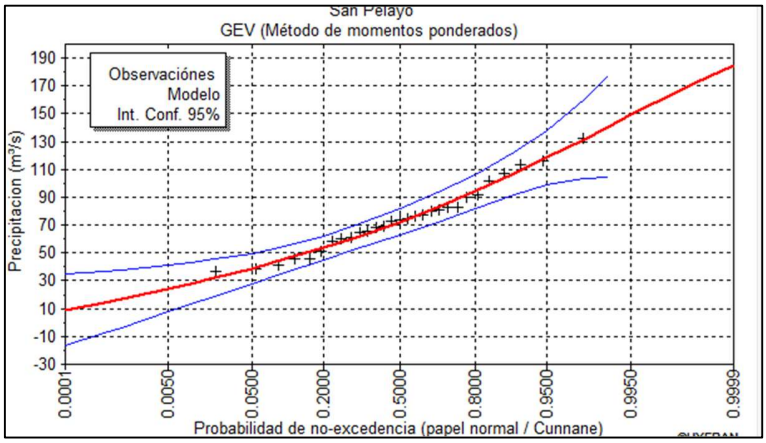
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 24. Gráfico de GEV (Método de momentos).



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 25. Gráfico de GEV (Método de momentos ponderados).



Fuente: Elaboración propia.

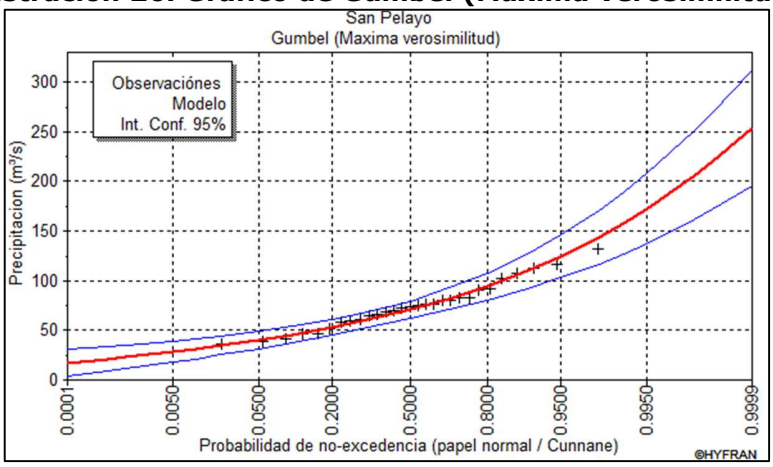
8.3.6.2 GUMBEL

La distribución de Gumbel constituye uno de los métodos clásicos en el análisis estadístico de eventos extremos, especialmente aplicada a series de precipitación y caudales máximos. Radica en describir la probabilidad de ocurrencia de valores extremos dentro de una serie hidrológica, permitiendo estimar de manera consistente los valores de retorno asociados a diferentes periodos.

Esta capacidad la convierte en una herramienta esencial para el dimensionamiento de obras hidráulicas y la evaluación del riesgo hidrológico. Para el presente estudio, la distribución de Gumbel fue evaluada mediante el software Elaboración propia con el fin de verificar el grado de ajuste entre los datos observados y el modelo teórico. A continuación, se presentan las gráficas generadas durante este proceso, las cuales permiten visualizar la

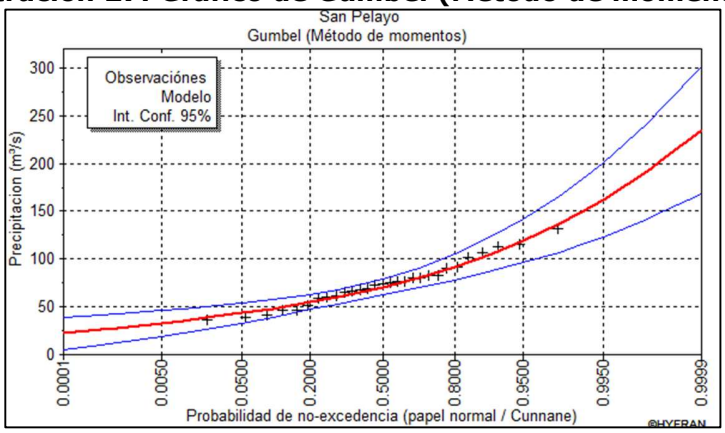
correspondencia entre los máximos registrados y la curva modelada por esta distribución.

Ilustración 26. Gráfico de Gumbel (Máxima verosimilitud).



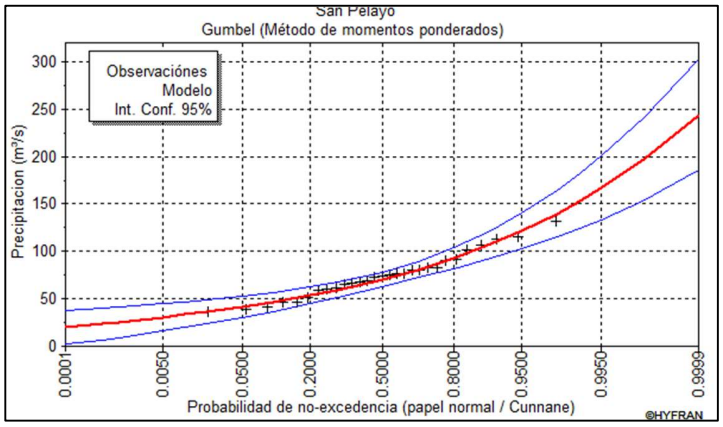
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 27. Gráfico de Gumbel (Método de momentos).



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 28. Gráfico de Gumbel (Método de momentos ponderados).

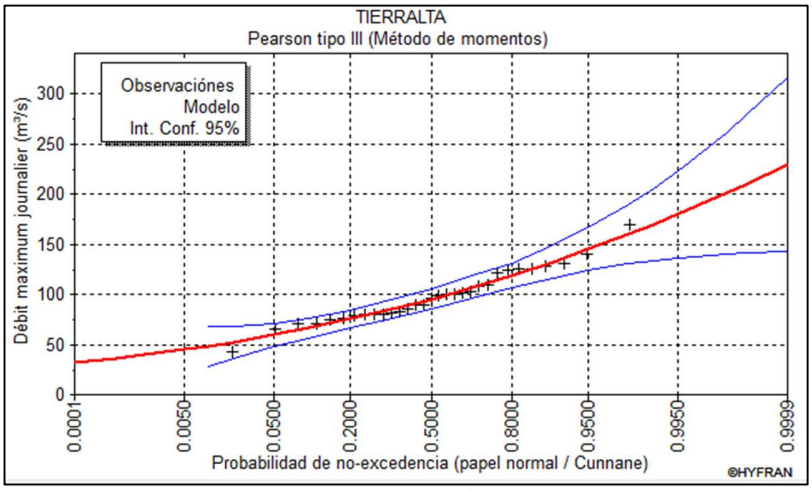


Fuente: Elaboración propia.

8.3.6.3 PEARSON TIPO III

La distribución Pearson Tipo III se destaca en el análisis estadístico de datos pluviométricos, ofreciendo una perspectiva única en la modelación de eventos extremos.

Ilustración 29. Gráfico de Pearson Tipo III (Método de momentos).



Fuente: Elaboración propia.

Su relevancia radica en su capacidad para adaptarse a diversas distribuciones de datos pluviométricos, brindando flexibilidad y precisión en la representación de patrones climáticos complejos. Al utilizar la distribución Pearson Tipo III, es posible caracterizar la probabilidad de eventos extremos, estimar valores de retorno y mejorar la comprensión de la variabilidad climática específica. Esta versatilidad resulta esencial para el diseño de infraestructuras hidrológicas y la gestión efectiva de riesgos de inundaciones, permitiendo abordar la complejidad de los patrones pluviométricos con mayor detalle y precisión.

8.3.6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados indican que las distribuciones GEV y Gumbel presentan un mejor ajuste estadístico frente a la serie analizada, debido a que registran los menores valores del estadístico χ^2. Este criterio permite comparar la diferencia entre las frecuencias observadas y las frecuencias estimadas por cada distribución; por tanto, un menor valor de χ^2 indica una menor discrepancia entre el comportamiento observado de los datos y el comportamiento teórico representado por la distribución ajustada. Entre ellas, la distribución GUMBEL ajustada mediante el método de momentos muestra una representación adecuada de la variabilidad y una asimetría coherente con la serie, por lo que se

considera la opción más apropiada para la modelación de los datos analizados.

Tabla 21. Resultados de análisis de frecuencia.

Distribución	Método de ajuste	χ^2 Resultado	Desviación estándar (σ)	Coef. Variación (Cv)	Coef. Asimetría (Cs)	Coef. Curtosis (Ck)
Gumbel	Máxima verosimilitud	5.35	30.1	0.305	1.14	2.40
Gumbel	Momentos	2.19	26.2	0 .268	1.14	2.40
Gumbel	Momentos ponderados (PWM)	3.55	26.6	0.272	0.764	3.93
GEV	Máxima verosimilitud	1.29	25.7	0.263	0.494	3.25
GEV	Momentos	6.26	26.2	0.268	0.585	3.44
GEV	Momentos ponderados (PWM)	3.55	26.6	0.272	0.764	3.93
Pearson Tipo III	Método de momentos	4.90	26.2	0.268	0.585	3.51

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que las distribuciones Gumbel y GEV presentan un ajuste estadístico aceptable para la serie analizada, dado que en todos los casos evaluados mediante la prueba Chi-cuadrado se acepta la hipótesis nula a un nivel de significancia del 5 %. No obstante, la distribución GEV presenta un mejor comportamiento global, al registrar los menores valores del estadístico χ^2, con 3.10 para máxima verosimilitud y método de momentos, y 3.59 para momentos ponderados, frente a valores entre 4.55 y 5.03 obtenidos para la distribución Gumbel.

En cuanto a los parámetros estadísticos, los ajustes GEV presentan desviaciones estándar comprendidas entre 23.3 mm y 24.3 mm y coeficientes de variación entre 0.312 y 0.326, valores próximos a los observados en la muestra. Asimismo, los coeficientes de asimetría obtenidos para GEV, entre 0.494 y 0.552, reproducen adecuadamente la asimetría de la serie observada, cuyo valor es 0.494. En comparación, los ajustes Gumbel presentan un coeficiente de asimetría constante de 1.14, considerablemente superior al registrado en la muestra.

En conjunto, los resultados indican que ambas distribuciones pueden representar el comportamiento probabilístico de la precipitación máxima; sin embargo, la distribución GEV presenta mayor concordancia con las características estadísticas de la serie y menores valores de χ^2. Por esta razón, se considera más apropiada para la estimación de eventos extremos, adoptándose específicamente la GEV ajustada mediante máxima verosimilitud para el desarrollo posterior del análisis hidrológico.

8.4. PRECIPITACIÓN DE DISEÑO

Una precipitación de diseño corresponde a un patrón de lluvia establecido para su aplicación en el diseño de sistemas hidrológicos. Por lo general, la tormenta de diseño representa la entrada al sistema, y los caudales generados se obtienen mediante procedimientos de lluvia–escorrentía. La precipitación de diseño puede definirse a partir de un valor de profundidad de lluvia puntual, mediante un hietograma de diseño que represente la distribución temporal de la precipitación, o a través de un mapa de isoyetas que describa el patrón espacial de la lluvia.

periodo de retorno

El tiempo que pasa entre dos sucesos iguales se conoce como el período de retorno y se simboliza con la letra T.
El período de retorno tiene una relación con la probabilidad de excedencia.

$$P(x > X) = \frac{1}{T}$$

Ecuación 16. Tiempo de retorno.

La función de distribución de probabilidad *F*(*X*), que representa la probabilidad de que la variable aleatoria tome un valor igual o inferior a *X*, está definida por la Ecuación 17:

$$F(X) = P(x \leq X) = 1 - \frac{1}{T}$$

Ecuación 17. Función de distribución de probabilidad.

Tabla 22. Periodos de retorno de diseño.

Características del área de drenaje	Mínimo (años)	Aceptable (años)	Recomendado (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha	2	2	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores a 10 ha	5	5	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 ha	10	25	50
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha	25	50	100

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.

La selección del periodo de retorno se realiza considerando las características hidráulicas del sistema, el área de drenaje asociada, el nivel de protección requerido y los criterios establecidos en la normativa técnica aplicable. En este caso, para la definición del periodo de retorno de diseño se toma como referencia la Tabla 22 (Tabla D.4.1 de RAS– Periodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema), correspondiente a los criterios del RAS para obras de drenaje.

De acuerdo con dicha tabla, para canales abiertos localizados en zonas planas que drenan áreas mayores a 1.000 ha, se establecen periodos de retorno de 10 años como mínimo, 25 años como aceptable y 50 años como recomendado. Considerando que el Caño El Bien Común corresponde a un canal abierto emplazado en una zona predominantemente plana y que su área de drenaje supera las 1.000 ha, se adopta para el análisis hidrológico e hidráulico el valor recomendado de 50 años.

En consecuencia, la evaluación hidráulica del cauce se desarrolla para el caudal asociado a un periodo de retorno de 50 años, con el propósito de verificar su capacidad de conducción bajo una condición de diseño compatible con el nivel de protección recomendado. A partir de este caudal se analizan los niveles de lámina de agua, profundidades, velocidades de flujo, esfuerzos cortantes, capacidad hidráulica de la sección y posibles condiciones de desbordamiento.

Parámetros estadísticos de la muestra

Los parámetros estadísticos que describen las características de la población también aparecen dentro del análisis (Chow et al., 1994). Los tres principales son el coeficiente de variación, la media y la variación (de la que se obtiene la desviación típica).

- Media ($\bar{x}$):

Un parámetro fundamental, la media ($\bar{x}$), denota el primer instante alrededor del origen de la variable aleatoria.

Según Chow et al. (1994), "para una variable aleatoria X, la media es E(X), y se calcula como el producto de x y la densidad de probabilidad correspondiente f(x), integrando sobre el rango posible de la variable aleatoria"

$$\boldsymbol{E(X)} = \mu = \int_{-\infty}^{\infty} X\, f(x) dx$$

Ecuación 18. Cálculo medio.

El valor del medio para la visualización se obtiene como el promedio aritmético

de la serie de datos.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} - \sum_{i=1}^{n} x_i$$

Ecuación 19. Cálculo de promedio.

- Varianza (σ^2)

Un parámetro que mide la dispersión o variabilidad de la información es la varianza (σ^2):

$$E[(x - \mu^2] = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} X\, f(x) dx$$

Ecuación 20. Cálculo de varianza.

- Desviación estándar

La desviación estándar (σ) es la raíz cuadrada de la varianza, representada por S, y posee las mismas dimensiones que la variable aleatoria X.
A medida que aumenta la desviación estándar, también aumenta la dispersión de la serie de datos.

$$S^2 = \frac{1}{n} - \sum_{i=1}^{n} ([[x_i - \bar{x})]]^2$$

Ecuación 21. Cálculo de desviación estándar.

Coeficiente de variación (Cv):

Esta medida multidimensional de variabilidad se estima utilizando, (Ecuación 19):

$$Cv = \frac{\sigma}{\mu}$$

Ecuación 22. Coeficiente de variación.

A continuación, se presenta la aplicación de la distribución de valores a los datos de precipitación máxima correspondientes al período comprendido entre los años 1997 y 2025.

Tabla 23. Parámetros estadísticos estación seleccionada.

Estadístico	Precipitación máxima diaria	Precipitación total anual
[-]	[mm]	[mm]
Cantidad de datos	30.00	30.00
Promedio	74.54	491.33
Desviación estándar	23.88	165.40
Mínimo	36.40	168.00
Percentil 25	60.00	371.00

Estadístico	Precipitación máxima diaria	Precipitación total anual
[-]	[mm]	[mm]
Mediana	74.00	485.00
Percentil 75	82.80	578.93
Máximo	132.00	787.00

Fuente: Elaboración propia.

Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

Las Curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) relacionan la intensidad de la precipitación con su duración y el período de retorno. Estas curvas se presentan como arreglos en los que la lluvia, expresada en términos de intensidad de precipitación, se analiza en función de distintas duraciones y períodos de retorno. Su obtención se basa, preferiblemente, en registros históricos de precipitación provenientes de estaciones provistas de pluviógrafo.

En los casos en que no se disponga de información pluviográfica, se recomienda el uso de un método simplificado para la estimación de las curvas IDF. Este procedimiento se fundamenta en la aplicación de la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{I = (a\,T^{b}\,M_{d})/(\frac{t}{60})^{c}}$$

Ecuación 23. Intensidad

donde:

I es la intensidad de precipitación $[mm/h]$,

T es el período de retorno $[años]$,

M_d es la precipitación máxima promedio anual en 24 horas, a nivel multianual $[mm]$,

t es la duración de la lluvia $[min]$

a, b, c y d son parámetros de ajuste obtenidos mediante regresión, los cuales han sido regionalizados según lo mostrado en la Tabla 19.

Tabla 24. Regionalización de los parámetros a, b, c y d para a estimación de Curvas IDF.

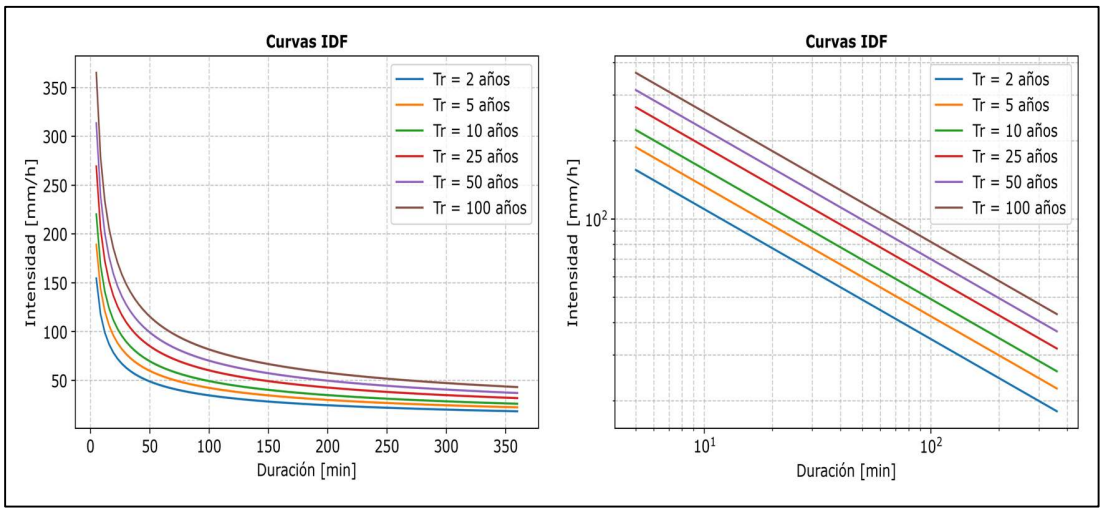
REGIÓN	A	B	C	D
R1	0.94	0.18	0.66	0.83
R2	24.85	0.22	0.5	0.1
R3	13.92	0.19	0.58	0.2
R4	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: INVIAS, Manual de Drenaje de Carreteras.

Para el presente proyecto, el área de estudio se encuentra localizada en la región R2 "CARIBE". Aplicando la metodología descrita anteriormente, se presentan las

curvas IDF calculadas para diferentes períodos de retorno.

Ilustración 30. Curvas IDF estación seleccionada.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Valores de Intensidad para varios tiempos de retorno y duración estación seleccionada.

Tr	Intensidad Duración 5 min	Intensidad Duración 10 min	Intensidad Duración 15 min	Intensidad Duración 30 min	Intensidad Duración 60 min	Intensidad Duración 120 min	Intensidad Duración 360 min
[años]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
2.00	154.31	109.11	89.09	63.00	44.54	31.50	18.19
5.00	188.77	133.48	108.99	77.06	54.49	38.53	22.25
10.00	219.87	155.47	126.94	89.76	63.47	44.88	25.91
25.00	268.97	190.19	155.29	109.81	77.64	54.90	31.70
50.00	313.28	221.52	180.87	127.90	90.44	63.95	36.92
100.00	364.89	258.01	210.67	148.96	105.33	74.48	43.00

Fuente: Elaboración propia.

Hietograma de precipitación espaciales.

La normativa, establece que los hietogramas de lluvia puntual deben transformarse a hietogramas de lluvia espacial, considerando que la precipitación media sobre una cuenca disminuye a medida que aumenta su área de drenaje.
La construcción de los hietogramas de diseño se realizó mediante el método de bloques alternos, el cual permite distribuir temporalmente la precipitación de diseño a partir de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) presentadas en Ilustración 30. Este procedimiento consiste en transformar las intensidades de lluvia en precipitaciones acumuladas y posteriormente en precipitaciones incrementales para cada intervalo de tiempo analizado.
La conversión de intensidad a precipitación acumulada se realizó mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{i \cdot t}{60}$$

Ecuación 24. Precipitación acumulada

Donde:

P= precipitación acumulada en milímetros.

i= intensidad de lluvia en mm/h.

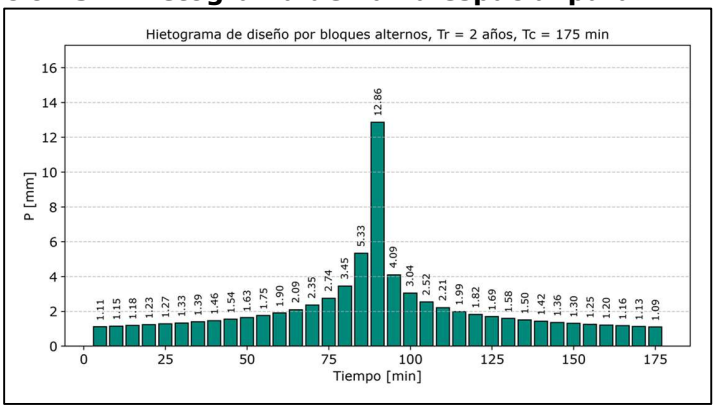
t= duración en minutos.

La duración de la lluvia se adoptó igual al tiempo de concentración de la cuenca hidrográfica analizada, se elaboraron los hietogramas de lluvia para los periodos de retorno de 2,5,10,25,50 y 100 años.

Posteriormente, se calcularon las precipitaciones diferenciales entre duraciones consecutivas y se reorganizaron mediante el método de bloques alternos, ubicando el bloque de mayor precipitación en la parte central del evento y distribuyendo los demás bloques de manera alternada hacia ambos lados en orden descendente.

La distribución temporal obtenida a partir de este método corresponde a una aproximación representativa de la variación de la lluvia durante el evento de diseño, permitiendo generar hietogramas sintéticos adecuados para los análisis hidrológicos de escorrentía y modelación hidráulica desarrollados en el presente estudio.

Ilustración 31. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 2 años



Fuente: Elaboración propia.

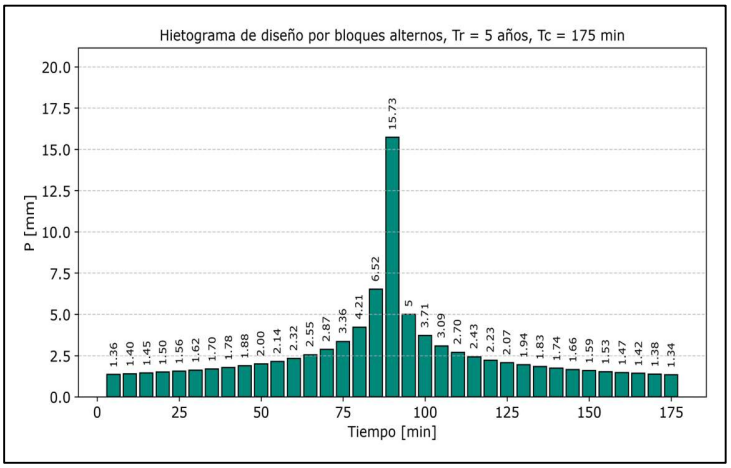
Tabla 26. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 2 años

Tiempo	Intensidad	P Lluvia	Precipitación Diferida	Rangos	P
[min]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]
5.00	154.31	12.86	12.86	1.00	1.11
10.00	109.11	18.19	5.33	2.00	1.15
15.00	89.09	22.27	4.09	3.00	1.18
20.00	77.15	25.72	3.45	4.00	1.23

Tiempo	Intensidad	P Lluvia	Precipitación Diferida	Rangos	P
[min]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]
25.00	69.01	28.75	3.04	5.00	1.27
30.00	63.00	31.50	2.74	6.00	1.33
35.00	58.32	34.02	2.52	7.00	1.39
40.00	54.56	36.37	2.35	8.00	1.46
45.00	51.44	38.58	2.21	9.00	1.54
50.00	48.80	40.66	2.09	10.00	1.63
55.00	46.53	42.65	1.99	11.00	1.75
60.00	44.54	44.54	1.90	12.00	1.90
65.00	42.80	46.36	1.82	13.00	2.09
70.00	41.24	48.11	1.75	14.00	2.35
75.00	39.84	49.80	1.69	15.00	2.74
80.00	38.58	51.44	1.63	16.00	3.45
85.00	37.43	53.02	1.58	17.00	5.33
90.00	36.37	54.56	1.54	18.00	12.86
95.00	35.40	56.05	1.50	19.00	4.09
100.00	34.50	57.51	1.46	20.00	3.04
105.00	33.67	58.93	1.42	21.00	2.52
110.00	32.90	60.31	1.39	22.00	2.21
115.00	32.18	61.67	1.36	23.00	1.99
120.00	31.50	63.00	1.33	24.00	1.82
125.00	30.86	64.29	1.30	25.00	1.69
130.00	30.26	65.57	1.27	26.00	1.58
135.00	29.70	66.82	1.25	27.00	1.50
140.00	29.16	68.04	1.23	28.00	1.42
145.00	28.65	69.25	1.20	29.00	1.36
150.00	28.17	70.43	1.18	30.00	1.30
155.00	27.71	71.60	1.16	31.00	1.25
160.00	27.28	72.74	1.15	32.00	1.20
165.00	26.86	73.87	1.13	33.00	1.16
170.00	26.46	74.98	1.11	34.00	1.13
175.00	26.08	76.07	1.10	35.00	1.10

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 32. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 5 años



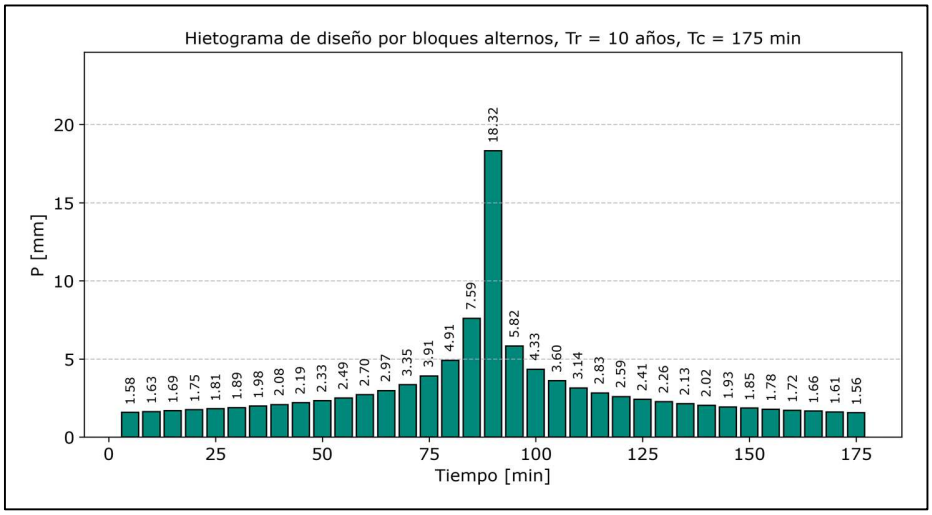
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 5 años

Tiempo	Intensidad	P Lluvia	Precipitación Diferida	Rangos	P
[min]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]
5.00	188.77	15.73	15.73	1.00	1.36
10.00	133.48	22.25	6.52	2.00	1.40
15.00	108.99	27.25	5.00	3.00	1.45
20.00	94.38	31.46	4.22	4.00	1.50
25.00	84.42	35.18	3.71	5.00	1.56
30.00	77.07	38.53	3.36	6.00	1.62
35.00	71.35	41.62	3.09	7.00	1.70
40.00	66.74	44.49	2.87	8.00	1.78
45.00	62.92	47.19	2.70	9.00	1.88
50.00	59.69	49.75	2.55	10.00	2.00
55.00	56.92	52.17	2.43	11.00	2.14
60.00	54.49	54.49	2.32	12.00	2.32
65.00	52.36	56.72	2.23	13.00	2.55
70.00	50.45	58.86	2.14	14.00	2.87
75.00	48.74	60.93	2.07	15.00	3.36
80.00	47.19	62.92	2.00	16.00	4.22
85.00	45.78	64.86	1.94	17.00	6.52
90.00	44.49	66.74	1.88	18.00	15.73
95.00	43.31	68.57	1.83	19.00	5.00
100.00	42.21	70.35	1.78	20.00	3.71
105.00	41.19	72.09	1.74	21.00	3.09
110.00	40.25	73.78	1.70	22.00	2.70
115.00	39.36	75.44	1.66	23.00	2.43
120.00	38.53	77.07	1.62	24.00	2.23
125.00	37.75	78.65	1.59	25.00	2.07
130.00	37.02	80.21	1.56	26.00	1.94
135.00	36.33	81.74	1.53	27.00	1.83
140.00	35.67	83.24	1.50	28.00	1.74
145.00	35.05	84.71	1.47	29.00	1.66
150.00	34.46	86.16	1.45	30.00	1.59
155.00	33.90	87.59	1.42	31.00	1.53
160.00	33.37	88.99	1.40	32.00	1.47
165.00	32.86	90.37	1.38	33.00	1.42
170.00	32.37	91.73	1.36	34.00	1.38
175.00	31.91	93.06	1.34	35.00	1.34

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 33. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 10 años



Fuente: Elaboración propia.

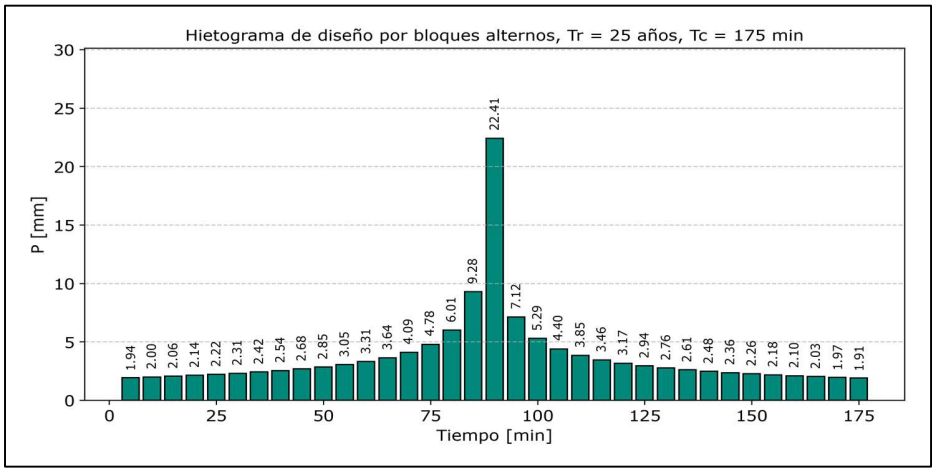
Tabla 28. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 10 años

Tiempo	Intensidad	P Lluvia	Precipitación Diferida	Rangos	P
[min]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]
5.00	219.87	18.32	18.32	1.00	1.58
10.00	155.47	25.91	7.59	2.00	1.63
15.00	126.94	31.74	5.82	3.00	1.69
20.00	109.93	36.64	4.91	4.00	1.75
25.00	98.33	40.97	4.33	5.00	1.81
30.00	89.76	44.88	3.91	6.00	1.89
35.00	83.10	48.48	3.60	7.00	1.98
40.00	77.73	51.82	3.35	8.00	2.08
45.00	73.29	54.97	3.14	9.00	2.19
50.00	69.53	57.94	2.97	10.00	2.33
55.00	66.29	60.77	2.83	11.00	2.49
60.00	63.47	63.47	2.70	12.00	2.70
65.00	60.98	66.06	2.59	13.00	2.97
70.00	58.76	68.56	2.49	14.00	3.35
75.00	56.77	70.96	2.41	15.00	3.91
80.00	54.97	73.29	2.33	16.00	4.91
85.00	53.33	75.54	2.26	17.00	7.59
90.00	51.82	77.73	2.19	18.00	18.32
95.00	50.44	79.86	2.13	19.00	5.82
100.00	49.16	81.94	2.08	20.00	4.33
105.00	47.98	83.96	2.02	21.00	3.60
110.00	46.88	85.94	1.98	22.00	3.14
115.00	45.85	87.87	1.93	23.00	2.83
120.00	44.88	89.76	1.89	24.00	2.59
125.00	43.97	91.61	1.85	25.00	2.41
130.00	43.12	93.43	1.81	26.00	2.26
135.00	42.31	95.20	1.78	27.00	2.13
140.00	41.55	96.95	1.75	28.00	2.02

Tiempo	Intensidad	P Lluvia	Precipitación Diferida	Rangos	P
[min]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]
145.00	40.83	98.67	1.72	29.00	1.93
150.00	40.14	100.35	1.69	30.00	1.85
155.00	39.49	102.01	1.66	31.00	1.78
160.00	38.87	103.65	1.63	32.00	1.72
165.00	38.27	105.25	1.61	33.00	1.66
170.00	37.71	106.84	1.58	34.00	1.61
175.00	37.16	108.40	1.56	35.00	1.56

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 34. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 25 años



Fuente: Elaboración propia.

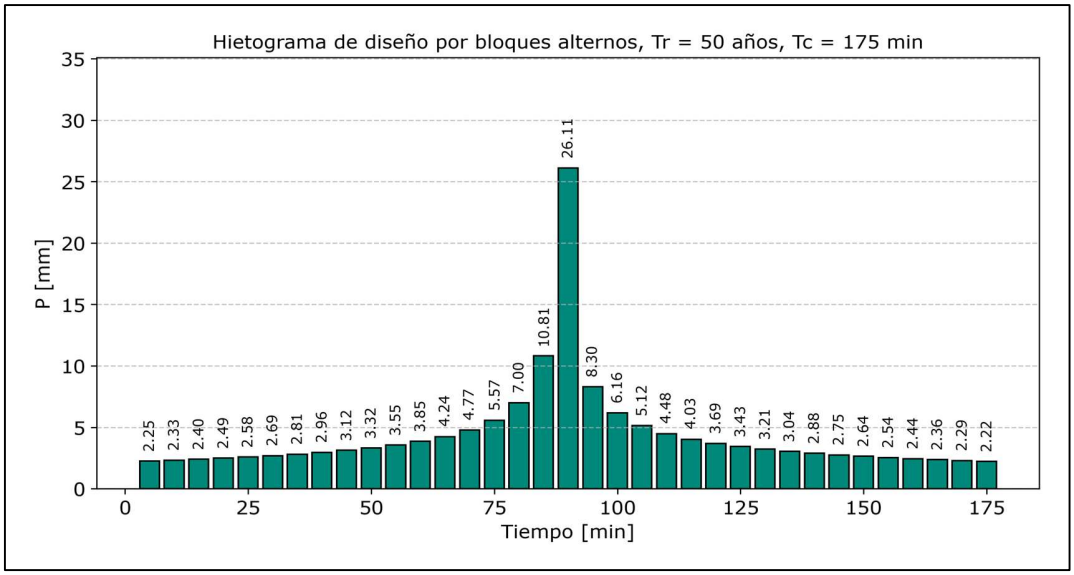
Tabla 29. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 25 años

Tiempo	Intensidad	P Lluvia	Precipitación Diferida	Rangos	P
[min]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]
5.00	268.97	22.41	22.41	1.00	1.94
10.00	190.19	31.70	9.28	2.00	2.00
15.00	155.29	38.82	7.12	3.00	2.06
20.00	134.49	44.83	6.01	4.00	2.14
25.00	120.29	50.12	5.29	5.00	2.22
30.00	109.81	54.90	4.78	6.00	2.31
35.00	101.66	59.30	4.40	7.00	2.42
40.00	95.10	63.40	4.10	8.00	2.54
45.00	89.66	67.24	3.85	9.00	2.68
50.00	85.06	70.88	3.64	10.00	2.85
55.00	81.10	74.34	3.46	11.00	3.05
60.00	77.65	77.65	3.31	12.00	3.31
65.00	74.60	80.82	3.17	13.00	3.64
70.00	71.89	83.87	3.05	14.00	4.10
75.00	69.45	86.81	2.94	15.00	4.78
80.00	67.24	89.66	2.85	16.00	6.01
85.00	65.24	92.42	2.76	17.00	9.28

Tiempo	Intensidad	P Lluvia	Precipitación Diferida	Rangos	P
[min]	[mm/h]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]
90.00	63.40	95.10	2.68	18.00	22.41
95.00	61.71	97.70	2.61	19.00	7.12
100.00	60.14	100.24	2.54	20.00	5.29
105.00	58.69	102.72	2.48	21.00	4.40
110.00	57.35	105.13	2.42	22.00	3.85
115.00	56.08	107.49	2.36	23.00	3.46
120.00	54.90	109.81	2.31	24.00	3.17
125.00	53.79	112.07	2.26	25.00	2.94
130.00	52.75	114.29	2.22	26.00	2.76
135.00	51.76	116.47	2.18	27.00	2.61
140.00	50.83	118.61	2.14	28.00	2.48
145.00	49.95	120.70	2.10	29.00	2.36
150.00	49.11	122.77	2.06	30.00	2.26
155.00	48.31	124.80	2.03	31.00	2.18
160.00	47.55	126.79	2.00	32.00	2.10
165.00	46.82	128.76	1.97	33.00	2.03
170.00	46.13	130.70	1.94	34.00	1.97
175.00	45.46	132.60	1.91	35.00	1.91

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 35. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 50 años



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 50 años

Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 50 años						
Tiempo (min)	Intensidad (mm/h)	P Lluvia (mm)	Precipitación Diferida	Rangos		P (mm)
5.00	313.28	26.11	26.11	1.00	2.26	5.00
10.00	221.52	36.92	10.81	2.00	2.33	10.00
15.00	180.87	45.22	8.30	3.00	2.40	15.00

Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 50 años						
Tiempo (min)	Intensidad (mm/h)	P Lluvia (mm)	Precipitación Diferida	Rangos		P (mm)
20.00	156.64	52.21	7.00	4.00	2.49	20.00
25.00	140.10	58.38	6.16	5.00	2.59	25.00
30.00	127.90	63.95	5.57	6.00	2.69	30.00
35.00	118.41	69.07	5.12	7.00	2.82	35.00
40.00	110.76	73.84	4.77	8.00	2.96	40.00
45.00	104.43	78.32	4.48	9.00	3.12	45.00
50.00	99.07	82.56	4.24	10.00	3.32	50.00
55.00	94.46	86.59	4.03	11.00	3.55	55.00
60.00	90.44	90.44	3.85	12.00	3.85	60.00
65.00	86.89	94.13	3.69	13.00	4.24	65.00
70.00	83.73	97.68	3.55	14.00	4.77	70.00
75.00	80.89	101.11	3.43	15.00	5.57	75.00
80.00	78.32	104.43	3.32	16.00	7.00	80.00
85.00	75.98	107.64	3.21	17.00	10.81	85.00
90.00	73.84	110.76	3.12	18.00	26.11	90.00
95.00	71.87	113.80	3.04	19.00	8.30	95.00
100.00	70.05	116.75	2.96	20.00	6.16	100.00
105.00	68.36	119.64	2.88	21.00	5.12	105.00
110.00	66.79	122.45	2.82	22.00	4.48	110.00
115.00	65.32	125.20	2.75	23.00	4.03	115.00
120.00	63.95	127.90	2.69	24.00	3.69	120.00
125.00	62.66	130.53	2.64	25.00	3.43	125.00
130.00	61.44	133.12	2.59	26.00	3.21	130.00
135.00	60.29	135.65	2.54	27.00	3.04	135.00
140.00	59.20	138.14	2.49	28.00	2.88	140.00
145.00	58.17	140.59	2.45	29.00	2.75	145.00
150.00	57.20	142.99	2.40	30.00	2.64	150.00
155.00	56.27	145.36	2.36	31.00	2.54	155.00
160.00	55.38	147.68	2.33	32.00	2.45	160.00
165.00	54.54	149.97	2.29	33.00	2.36	165.00
170.00	53.73	152.23	2.26	34.00	2.29	170.00
175.00	52.95	154.45	2.22	35.00	2.22	175.00

Fuente: Elaboración propia.

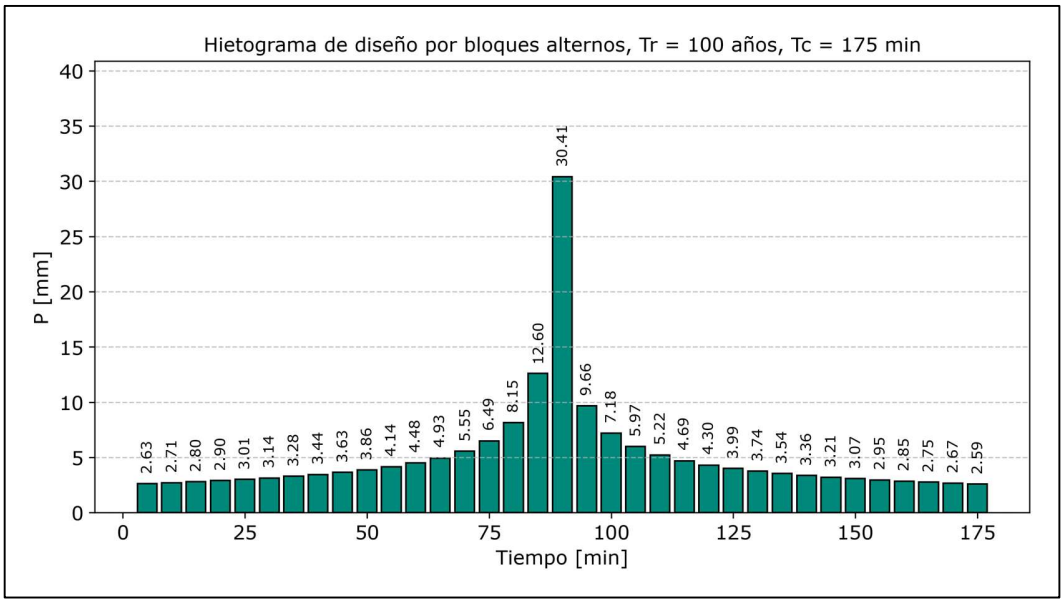
Tabla 31. Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 100 años

Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 50 años						
Tiempo (min)	Intensidad (mm/h)	P Lluvia (mm)	Precipitación Diferida	Rangos		P (mm)
5.00	364.89	30.41	30.41	1.00	2.63	5.00
10.00	258.01	43.00	12.60	2.00	2.71	10.00
15.00	210.67	52.67	9.67	3.00	2.80	15.00
20.00	182.44	60.81	8.15	4.00	2.90	20.00
25.00	163.18	67.99	7.18	5.00	3.01	25.00
30.00	148.96	74.48	6.49	6.00	3.14	30.00
35.00	137.91	80.45	5.97	7.00	3.28	35.00
40.00	129.01	86.00	5.56	8.00	3.44	40.00
45.00	121.63	91.22	5.22	9.00	3.64	45.00
50.00	115.39	96.16	4.93	10.00	3.86	50.00

Hietograma de precipitación para periodo de retorno de 50 años						
Tiempo (min)	**Intensidad (mm/h)**	**P Lluvia (mm)**	**Precipitación Diferida**	**Rangos**		**P (mm)**
55.00	110.02	100.85	4.69	11.00	4.14	55.00
60.00	105.33	105.33	4.48	12.00	4.48	60.00
65.00	101.20	109.63	4.30	13.00	4.93	65.00
70.00	97.52	113.77	4.14	14.00	5.56	70.00
75.00	94.21	117.77	3.99	15.00	6.49	75.00
80.00	91.22	121.63	3.86	16.00	8.15	80.00
85.00	88.50	125.37	3.74	17.00	12.60	85.00
90.00	86.00	129.01	3.64	18.00	30.41	90.00
95.00	83.71	132.54	3.54	19.00	9.67	95.00
100.00	81.59	135.99	3.44	20.00	7.18	100.00
105.00	79.63	139.34	3.36	21.00	5.97	105.00
110.00	77.79	142.62	3.28	22.00	5.22	110.00
115.00	76.08	145.83	3.21	23.00	4.69	115.00
120.00	74.48	148.96	3.14	24.00	4.30	120.00
125.00	72.98	152.04	3.07	25.00	3.99	125.00
130.00	71.56	155.05	3.01	26.00	3.74	130.00
135.00	70.22	158.00	2.95	27.00	3.54	135.00
140.00	68.96	160.90	2.90	28.00	3.36	140.00
145.00	67.76	163.75	2.85	29.00	3.21	145.00
150.00	66.62	166.55	2.80	30.00	3.07	150.00
155.00	65.54	169.30	2.75	31.00	2.95	155.00
160.00	64.50	172.01	2.71	32.00	2.85	160.00
165.00	63.52	174.68	2.67	33.00	2.75	165.00
170.00	62.58	177.30	2.63	34.00	2.67	170.00
175.00	61.68	179.89	2.59	35.00	2.59	175.00

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 36. Hietograma de lluvia espacial para Tr = 100 años



Fuente: Elaboración propia.

Para efectos del diseño hidrológico e hidráulico del proyecto, se adoptó como evento de diseño la precipitación correspondiente a un periodo de retorno de 50 años. A partir del hietograma sintético generado para este periodo de retorno se desarrolló la modelación hidrológica en HEC-HMS, mediante la cual se estimaron los hidrogramas y caudales de diseño asociados a la cuenca analizada.
Los caudales obtenidos en HEC-HMS fueron posteriormente empleados como información de entrada para la modelación hidráulica desarrollada en HEC-RAS, con el propósito de evaluar el comportamiento hidráulico del cauce, los niveles de lámina de agua, las profundidades de flujo y demás variables requeridas para la verificación de las condiciones hidráulicas del tramo objeto de estudio.

8.5. ANÁLISIS DE CAUDALES

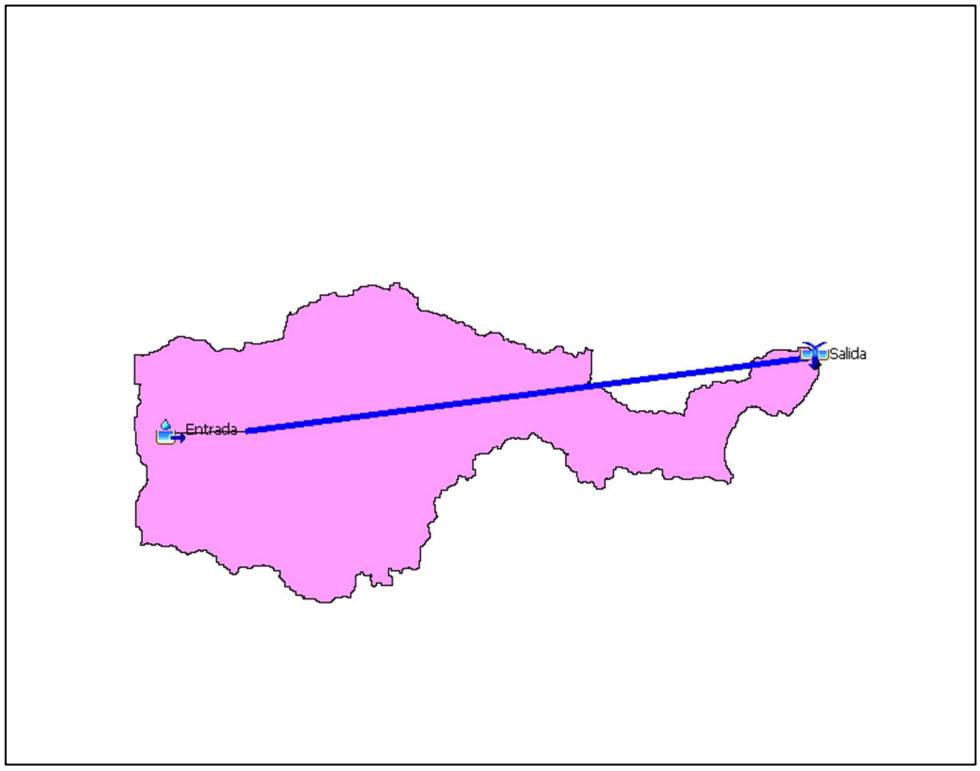
8.5.1. CÁLCULO DE CAUDAL DE CAUDAL-MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS

Cuando no se dispone de registros directos de caudales de drenaje en la cuenca hidrográfica, es adecuado emplear modelos lluvia–escorrentía. En estos modelos la escorrentía superficial se estima a partir de la precipitación mediante métodos hidrológicos reconocidos. Para el presente proyecto se adopta el método del Número de la Curva (CN), ampliamente utilizado para caracterizar la relación entre infiltración, retención y generación de escorrentía en cuencas rurales y mixtas.
El método del hidrograma unitario asociado al CN permite estimar caudales máximos probables a partir de las características físicas de la cuenca, tales como área, uso y cobertura del suelo, tipo de suelo, grupo hidrológico, tiempo de concentración, tiempo de retardo y distribución temporal de la lluvia de diseño. Este método ha sido aplicado en numerosos estudios de cuencas de diversos tamaños y condiciones geomorfológicas, mostrando buen desempeño en zonas con características similares a las del área de estudio.
El cálculo de caudales se desarrolló mediante el modelo hidrológico HEC-HMS, herramienta diseñada para simular procesos de precipitación-escorrentía en cuencas dendríticas. Este software permite modelar eventos de lluvia individuales, hidrogramas unitarios, análisis de inundaciones, evaluación de drenajes urbanos y rurales, así como estimaciones de flujo futuro bajo cambios en el uso del suelo.
Para el proyecto se configuró un modelo hidrológico que incorpora:

- El área efectiva de las subcuencas.

- Los valores del Número de la Curva (CN) definidos según cobertura y grupo hidrológico del suelo.
- El tiempo de concentración y tiempo de retardo estimados para la cuenca.
- El hietograma de diseño construido mediante el método de bloques alternos, considerando la duración igual al tiempo de concentración y aplicando el correspondiente factor de reducción por área (FRA) cuando es requerido.

Ilustración 37. Modelo hidrológico HEC-HMS aplicado a la cuenca del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla presenta la configuración general del modelo HEC-HMS implementado en este estudio.

Tabla 32. Configuración general del modelo HEC-HMS.

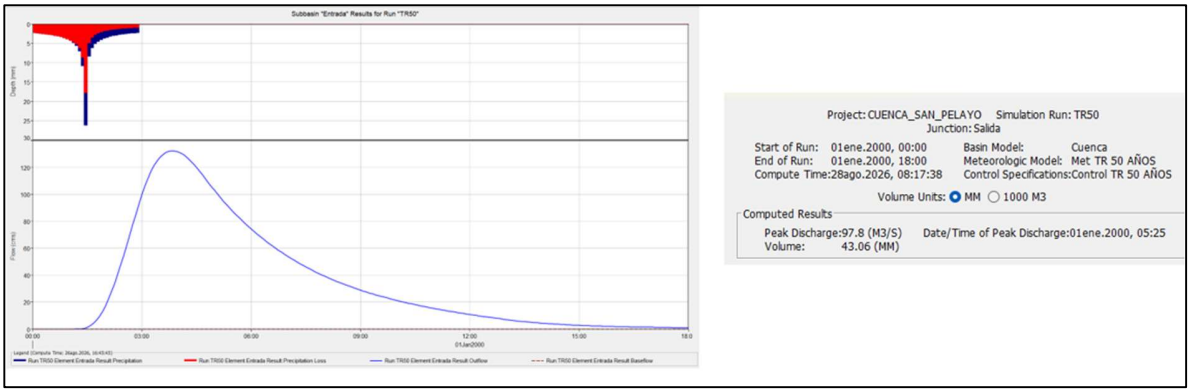
Modelo HEC-HMS parametros									
Cuenca	A (km²)	$CN(II)_{ponderado}$	Lc (m)	Tc(min)	S(II)	Ia(II)	Tlag	k	x
C1	50.916	56.79	16850.00	173.78	193.26	38.65	104.27	1.74	0.15

Fuente: Elaboración propia.

El modelo hidrológico aplicado a la cuenca evidencia que, para el periodo de retorno de 50 años, se obtiene un caudal pico de 97,8 m³/s, alcanzado aproximadamente a las 05:25 horas del evento simulado. Asimismo, el modelo

registra un volumen total de escorrentía de 43,06 mm, correspondiente a la lámina de agua generada y descargada en el punto de salida de la cuenca durante la simulación. Los resultados obtenidos representan la respuesta hidrológica de la cuenca ante el evento de diseño adoptado y permiten definir el hidrograma y el caudal de diseño empleados posteriormente como condición de entrada para la modelación hidráulica en HEC-RAS.

Ilustración 38. Resultados e hidrogramas de caudal por el método de CN Tr =50 años.



Fuente: Elaboración propia.

9. MODELO HIDRÁULICO CONDICIONES INICIALES

El análisis hidráulico se realizó mediante la modelación bidimensional del cauce y su área de influencia, utilizando la información topográfica disponible para representar la geometría del terreno, las pendientes predominantes y las zonas potenciales de desbordamiento. A partir de esta configuración se simuló el comportamiento del flujo asociado a los caudales de diseño, con el propósito de evaluar la dinámica hidráulica del cauce, identificar las áreas susceptibles a inundación y determinar el posible riesgo que estas condiciones pueden representar para el predio destinado al desarrollo del proyecto.

Los resultados obtenidos permiten analizar la extensión de la lámina de agua, las profundidades máximas y la distribución espacial del flujo durante los escenarios evaluados. Con ello se busca establecer si el comportamiento hidráulico del cauce puede generar afectaciones sobre el área de estudio, especialmente en zonas bajas, sectores próximos al drenaje natural o áreas con tendencia a la acumulación temporal de agua.

En este contexto, el análisis se orienta a determinar la sección hidráulica requerida del canal, mediante la evaluación de su comportamiento frente al caudal de diseño adoptado. Para ello, la modelación permite analizar variables

como la profundidad de flujo, los niveles de la lámina de agua, las velocidades y la capacidad hidráulica de las diferentes secciones evaluadas, con el fin de identificar una geometría que permita conducir adecuadamente el caudal considerado. En los apartados siguientes se presentan las configuraciones adoptadas en el modelo bidimensional y los resultados obtenidos para los escenarios simulados.

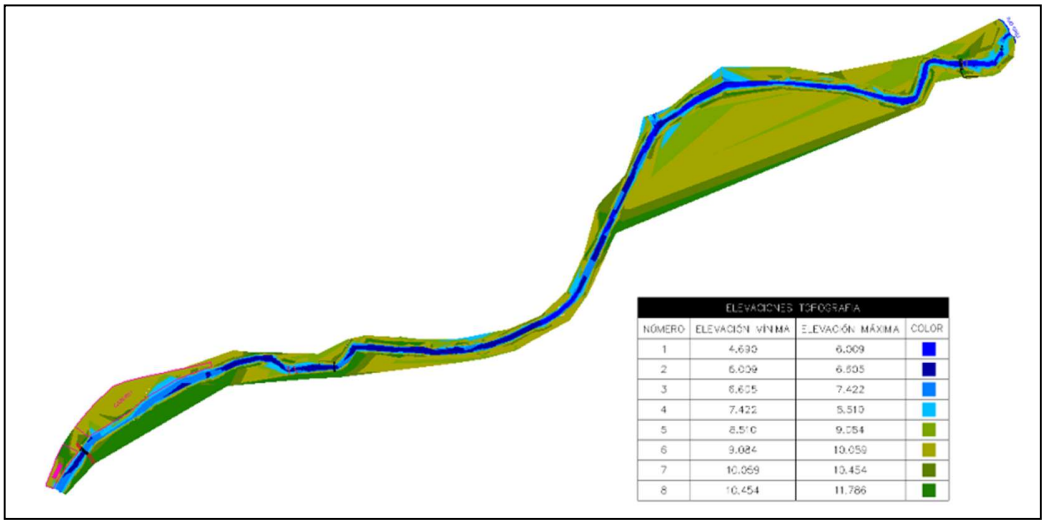
9.1. CONFIGURACIÓN DE LA BASE TOPOGRÁFICA (DEM)

A partir del levantamiento topográfico realizado en el tramo de estudio del Caño El Bien Común, se generó el modelo digital de elevación utilizado para representar las condiciones geométricas actuales del terreno y del cauce. La superficie obtenida presenta elevaciones comprendidas aproximadamente entre 4.690 m y 11.786 m, evidenciando la variación altimétrica existente a lo largo del corredor analizado.

La información topográfica fue procesada para conformar una superficie continua del terreno, incorporando la geometría del cauce y de las áreas adyacentes necesarias para la posterior modelación hidráulica. Este modelo constituye la base para definir la configuración espacial del dominio de cálculo y representar adecuadamente las condiciones de flujo en el tramo evaluado.

A continuación, se presenta el modelo digital de elevación correspondiente al Caño El Bien Común ver Ilustración 39.

Ilustración 39. Modelo digital de elevación del Caño El Bien Común.



Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento topográfico.

Para la construcción del modelo hidráulico se utilizó únicamente la superficie generada a partir de la topografía de detalle disponible, con resolución de 1m ×

1m.

Con base en esta superficie topográfica se generó la geometría del modelo y la malla de cálculo bidimensional, garantizando una representación adecuada del terreno para simular el comportamiento hidráulico del cauce y evaluar las posibles zonas de inundación asociadas al proyecto.

9.2. DISCRETIZACIÓN DE LA MALLA DE CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE RUGOSIDAD

El coeficiente de Manning representa la medida de resistencia al flujo del agua en canales, ya sean naturales o construidos. Este coeficiente es altamente variable, influenciado por varios factores tales como la vegetación, la irregularidad del terreno, la presencia de obstrucciones, el nivel y volumen del agua, y el tipo de flujo. Para el presente análisis se adoptó un coeficiente de rugosidad de Manning n=0.030, correspondiente a canales excavados en tierra. Este valor se encuentra dentro del rango de 0.025 a 0.035 recomendado para este tipo de canal, de acuerdo con los valores de rugosidad establecidos por Chow (1959). La selección del valor intermedio se considera representativa de las condiciones del cauce evaluado y se empleó en la modelación hidráulica desarrollada en HEC-RAS.

Tabla 33: estimación de la n de Manning para canales.

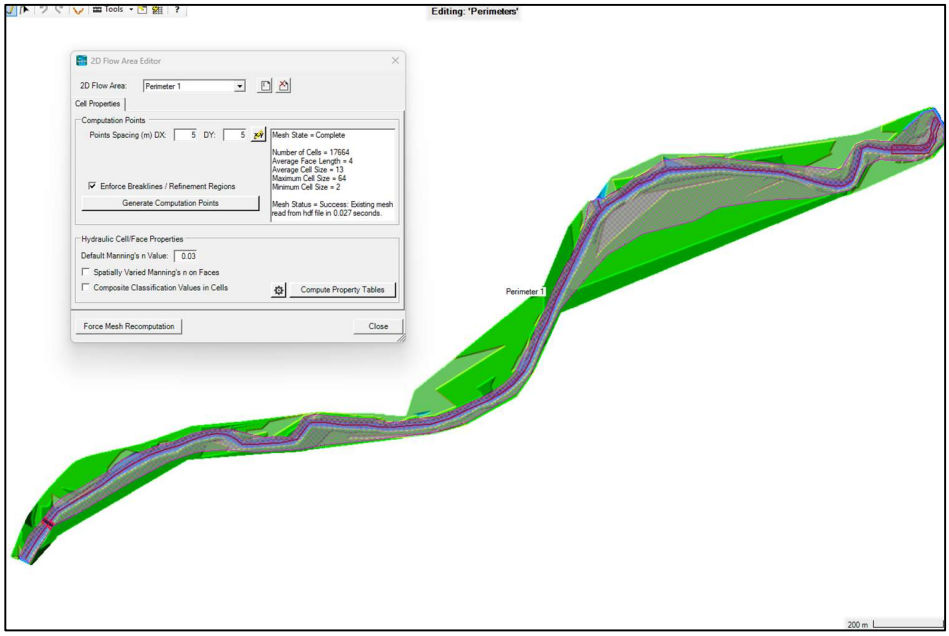
n DE MANNING	n mínimo	n medio	n máximo
a. En tierra, recto y uniforme			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.02
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.03
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.03
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.03	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.03	0.035	0.04
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.03	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.04
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.03	0.04	0.05
c. Excavado con pala o dragado			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.05	0.06

n DE MANNING	n mínimo	n medio	n máximo
d. Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.04
2. Afilados e irregulares	0.035	0.04	0.05
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.05	0.08	0.12

Fuente: Chow, V. T. (1959). Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill.

La geometría del modelo se definió mediante la delimitación del dominio bidimensional sobre el área de estudio, a partir de la superficie topográfica disponible. Sobre este dominio se generó la malla de cálculo utilizada en la simulación hidráulica, adoptando un tamaño base de celda de 5 m × 5 m, con el fin de representar adecuadamente la variación del terreno y las trayectorias principales del flujo.

Ilustración 40. Discretización de la Malla de Cálculo y asignación de Manning.



Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

Adicionalmente, se incorporaron regiones de refinamiento con tamaño de celda de 2 m × 2 m en los sectores de mayor interés hidráulico, especialmente sobre el eje del cauce y áreas donde se requería una representación más detallada del comportamiento del flujo. Esta configuración permitió mejorar la precisión del modelo sin perder estabilidad numérica durante la simulación.

Como resultado, se obtuvo una malla bidimensional adecuada para representar

el comportamiento hidráulico del cauce y las posibles zonas de inundación asociadas al proyecto.

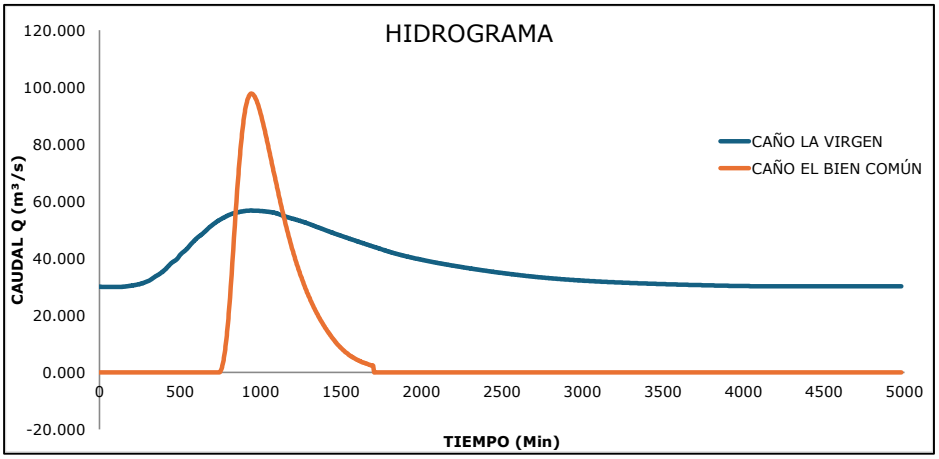
9.3. MODELO DE LLUVIA IMPLEMENTADO

El modelo emplea un esquema de precipitación directa sobre la totalidad de la malla 2D, permitiendo que cada celda actúe como receptora de carga hídrica. Se cargó el hidrograma de diseño resultante del modelo de HEC-HMS para un periodo de retorno de 50 años.

De igual manera, en la modelación se consideró el aporte correspondiente al Caño La Virgen, para el cual se disponía previamente de un caudal de diseño de 56,78 m³/s, asociado a un periodo de retorno de 50 años. Este valor fue incorporado como condición de entrada correspondiente a dicho afluente.

Por otra parte, para el cauce objeto de estudio del presente informe, la condición hidrológica de entrada fue definida a partir del hidrograma resultante de la modelación desarrollada en HEC-HMS para un periodo de retorno de 50 años, el cual representa la respuesta de la cuenca analizada ante el evento de diseño adoptado.

Ilustración 41. hidrograma de diseño Tr= 50 años.



Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

La comparación de los hidrogramas considerados como condiciones de entrada evidencia comportamientos diferenciados entre ambos cauces. El Caño El Bien Común presenta una respuesta más rápida y concentrada, alcanzando un caudal pico de aproximadamente 97,8 m³/s alrededor de los 950 minutos, seguido de una recesión relativamente rápida hasta aproximarse a cero hacia los 1.700 minutos.

Por su parte, el Caño La Virgen presenta una respuesta más gradual y sostenida,

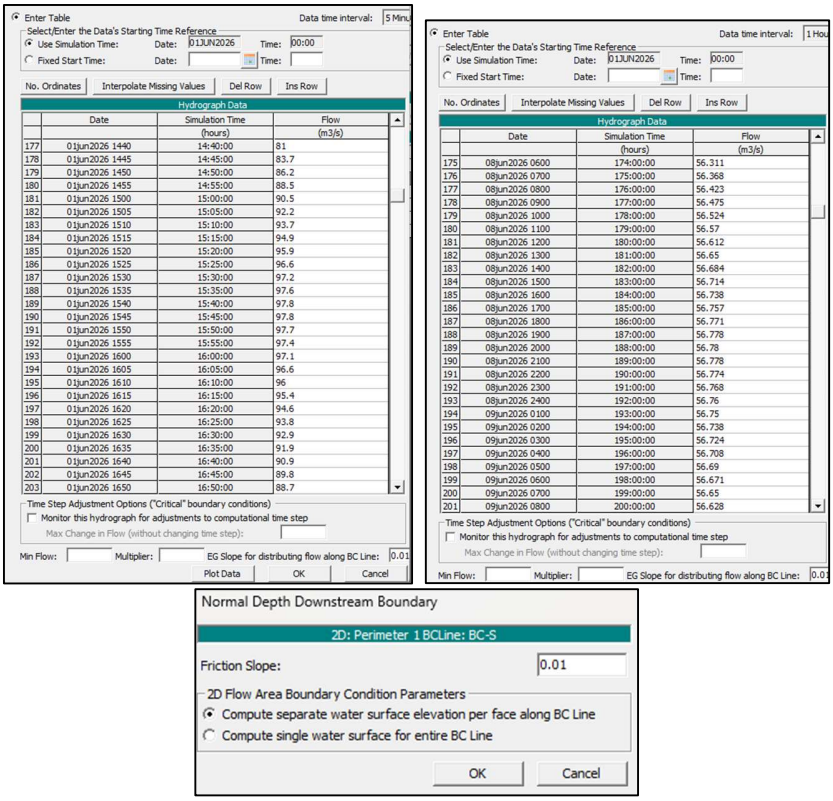
con un caudal inicial cercano a 30 m³/s y un máximo del orden de 56,78 m³/s aproximadamente entre los 950 y 1.000 minutos. Posteriormente, el caudal disminuye de manera progresiva, tendiendo nuevamente hacia valores cercanos a 30 m³/s.

Estos hidrogramas fueron incorporados simultáneamente en el modelo bidimensional de HEC-RAS como condiciones de entrada independientes, correspondiendo la Entrada 1 al Caño El Bien Común y la Entrada 2 al Caño La Virgen. Esta configuración permite representar la interacción hidráulica de ambos aportes dentro del dominio 2D y evaluar su efecto conjunto sobre los niveles de agua, profundidades, velocidades y capacidad hidráulica del tramo analizado.

9.4. CRITERIOS DE ANÁLISIS PARA LA SALIDA DEL FLUJO

La evacuación del flujo se localizó en las fronteras denominadas Salida, seleccionadas estratégicamente en las cotas más bajas de la topografía para coincidir con la descarga natural del relieve.

Ilustración 42. datos del flujo y parámetros de frontera.

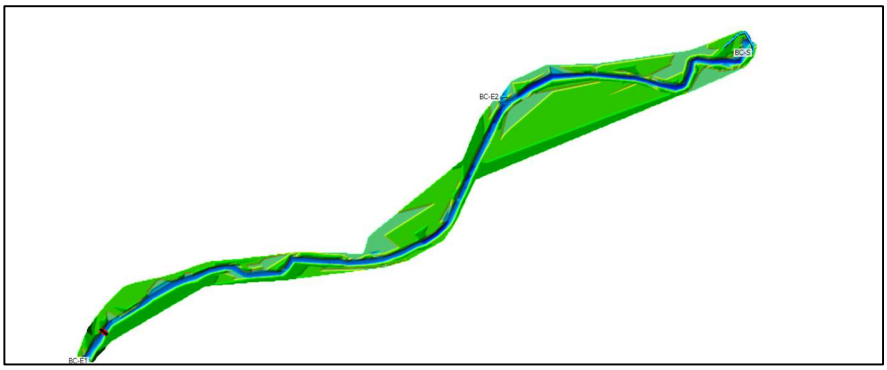


Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

Se aplicó el criterio de Profundidad Normal (Normal Depth) con una pendiente de fricción de 0.01 m/m. La opción de cálculo independiente por cara de celda

garantiza que la descarga sea cinemáticamente coherente con la pendiente local, evitando represamientos artificiales. Adicionalmente, se configuró un tiempo total de simulación de 83 horas, con el fin de permitir el tránsito completo del flujo y la evacuación del agua hacia los puntos de salida del modelo.

Ilustración 43. Ubicación de Salida y entradas.

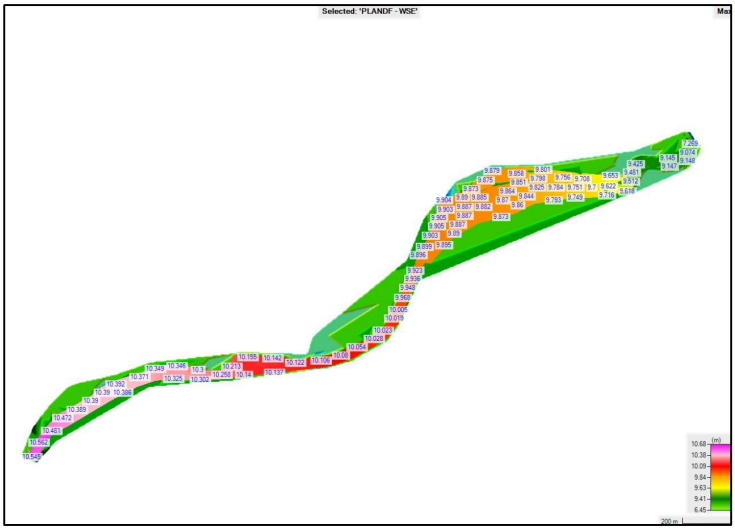


Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

9.5. DETERMINACIÓN DE COTA DE INUNDACIÓN (WSE)

El análisis de las cotas de inundación se orientó a evaluar el comportamiento hidráulico del cauce durante los eventos de diseño, con el fin de identificar los niveles máximos de superficie de agua, las zonas de desbordamiento y la posible influencia sobre el área del proyecto.

Ilustración 44. Superficie del nivel del agua (WSE), Tr=50 AÑOS.



Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

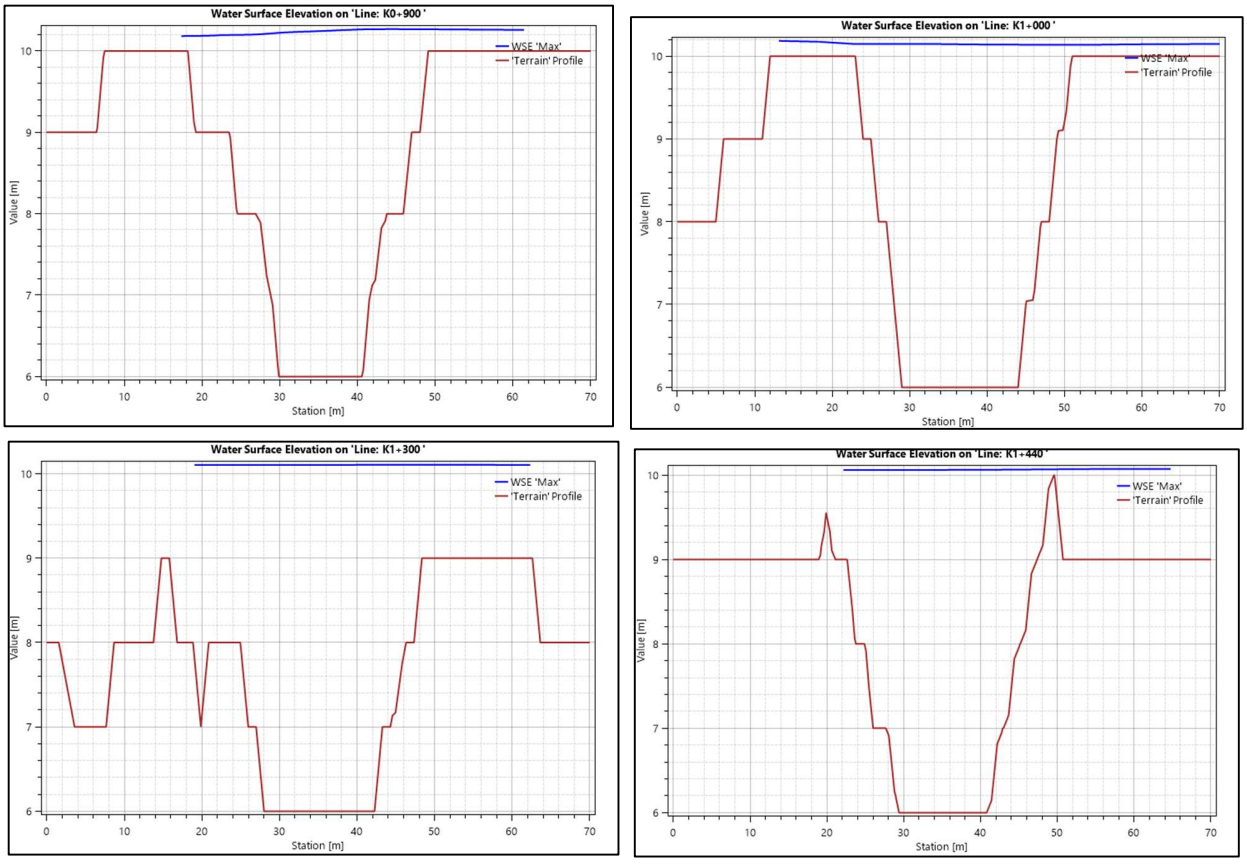
Para el escenario de Tr = 50 años, presentado en la Ilustración 44, se observan valores aproximados entre 7,68 m y 10,98 m. En la mayor parte del tramo

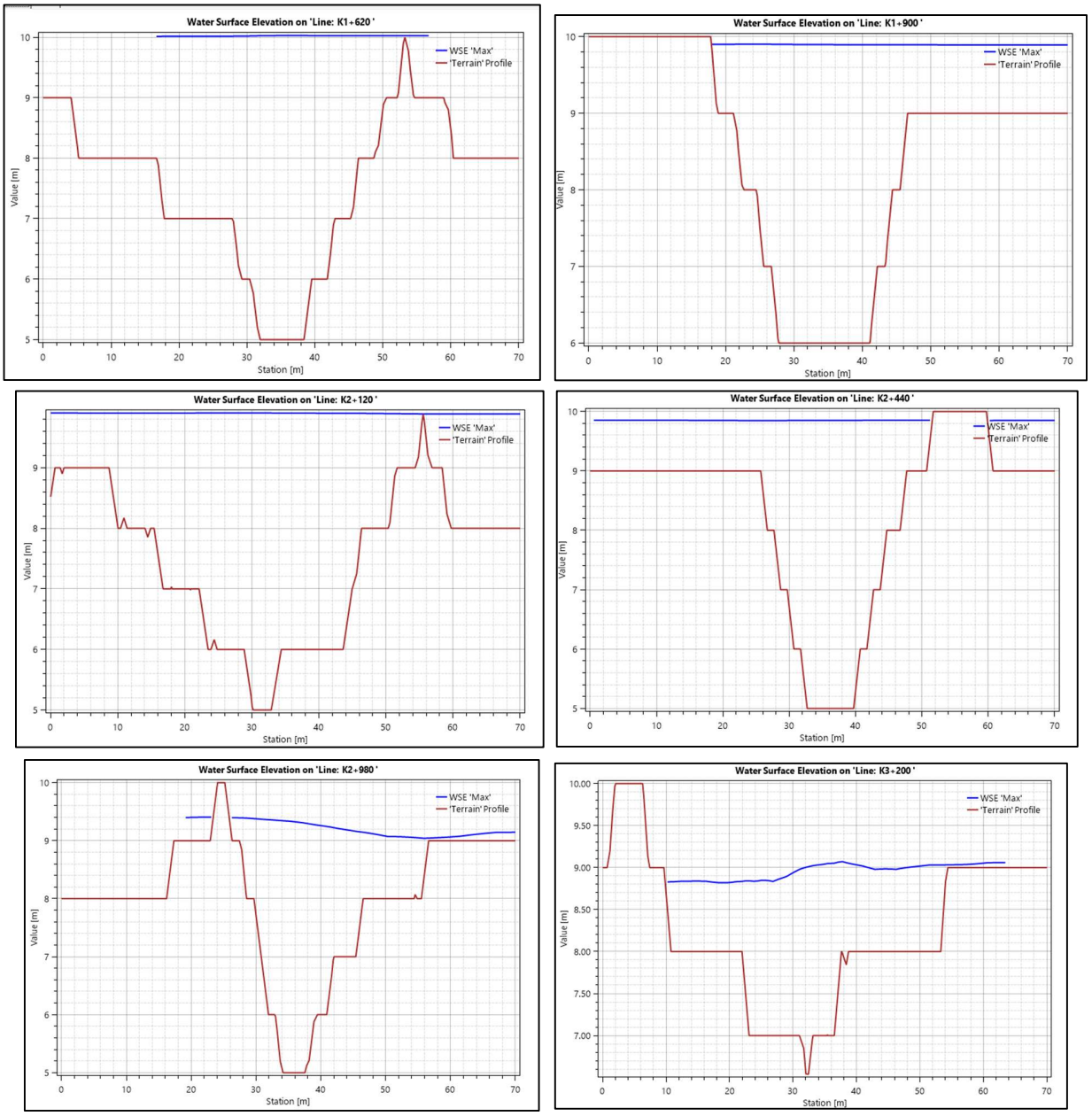
predominan cotas del orden de 10,20 m a 10,85 m, observándose variaciones locales asociadas a la configuración geométrica y altimétrica del cauce. Estas elevaciones corresponden a la superficie utilizada como base para la modelación hidráulica y condicionan la distribución espacial de los niveles y profundidades de flujo dentro del dominio bidimensional.

Para la condición inicial correspondiente a Tr = 50 años, se observa que el flujo presenta sectores de desbordamiento respecto a la sección existente del cauce. Esta condición se hace más evidente en la zona de confluencia entre el Caño El Bien Común y el Caño La Virgen, donde la interacción de ambos aportes genera un incremento de los niveles de agua y una mayor ocupación lateral del flujo.

El comportamiento identificado evidencia que, bajo la geometría actual, existen sectores con capacidad hidráulica limitada, especialmente en la confluencia de ambos cauces. Estos resultados constituyen la condición base para definir las adecuaciones requeridas y establecer una sección hidráulica de diseño que permita mejorar la conducción.

Ilustración 45. Secciones transversales del cauce existente y niveles de lámina de agua obtenidos mediante modelación hidráulica en HEC-RAS.





Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

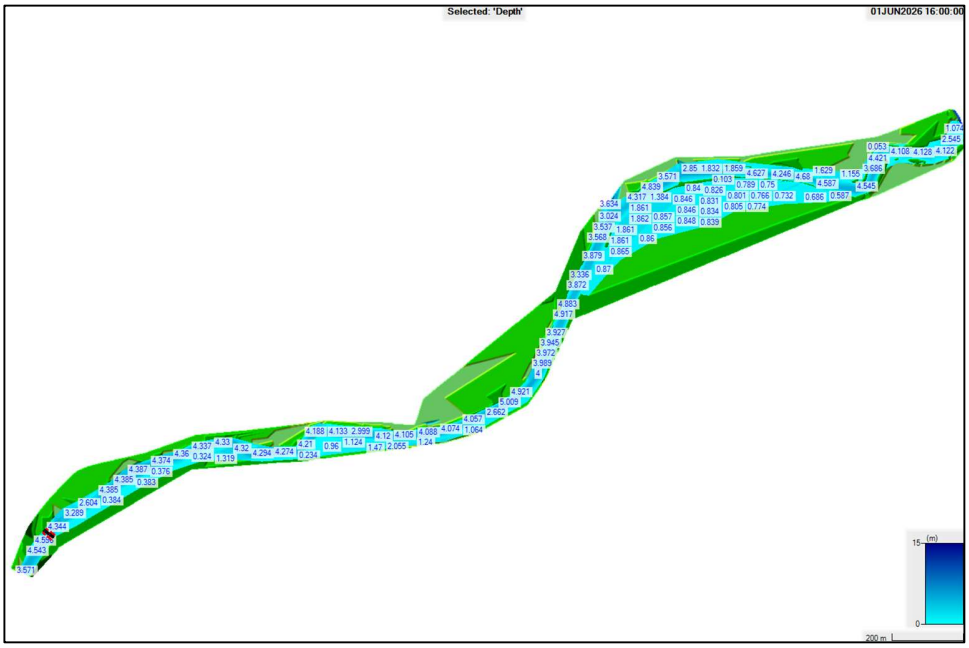
De acuerdo con las secciones transversales obtenidas de la modelación hidráulica, se evidencia que, para la condición actual del Caño El Bien Común y ante el caudal correspondiente al periodo de retorno de 50 años, la lámina de agua alcanza e incluso supera las cotas de las márgenes en varios sectores analizados. Esta condición permite identificar puntos en los cuales la capacidad hidráulica de la sección existente resulta insuficiente, generándose rebose de la lámina de agua por fuera de la sección natural del cauce.

Los resultados anteriores sustentan la necesidad de realizar la adecuación

hidráulica del cauce, mediante la conformación de una sección con capacidad suficiente para transportar el caudal de diseño. La sección proyectada deberá permitir que la lámina de agua permanezca contenida dentro del cauce y conservar un borde libre adecuado entre el nivel máximo del agua y la corona de las márgenes, proporcionando un margen de seguridad frente a posibles desbordamientos durante el evento evaluado.

9.6. DETERMINACIÓN LA ALTURA DEL AGUA ACUMULADA SOBRE EL TERRENO

Ilustración 46. Profundidades simuladas en el área del proyecto para Tr = 50 años.



Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

El análisis de profundidad de flujo permitió evaluar el comportamiento de la escorrentía superficial generada por los eventos de diseño de Tr = 50 años, considerando las condiciones topográficas y parámetros hidráulicos definidos en el modelo bidimensional.

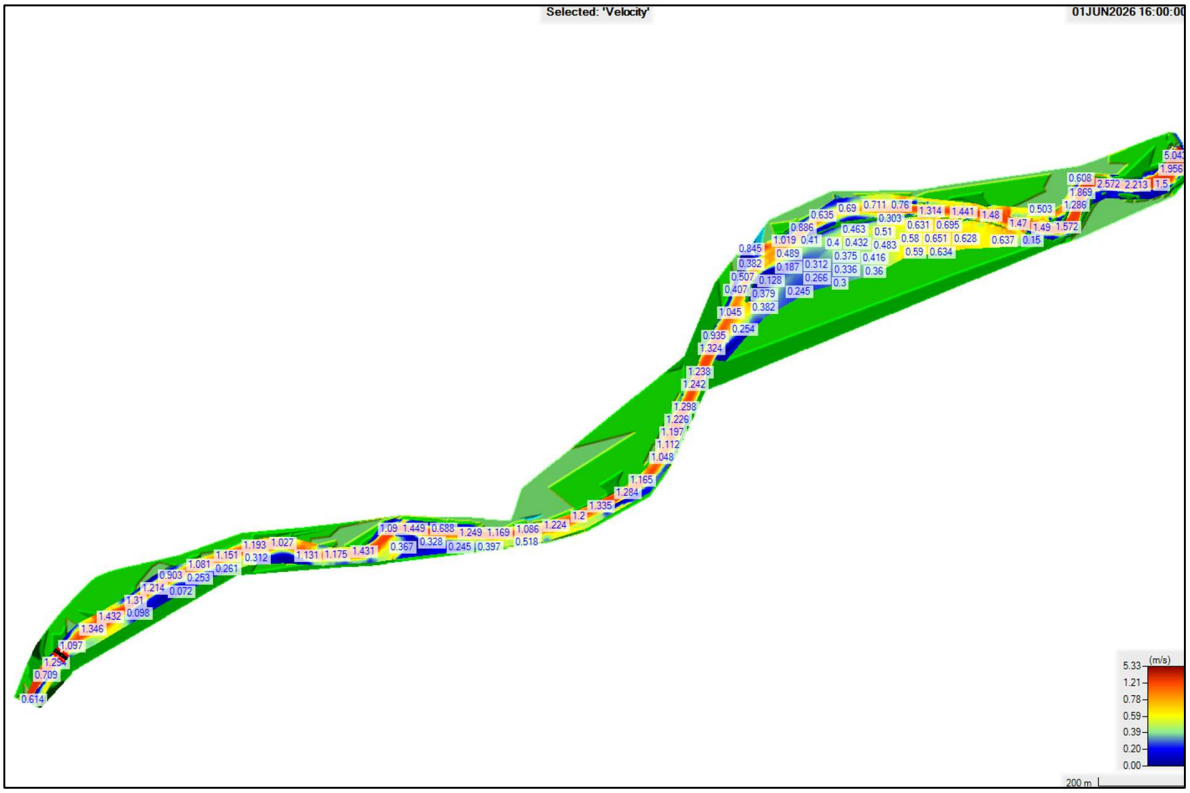
Los resultados presentados en la Ilustración 46 muestran valores que varían aproximadamente entre 0,00 m y 5.01 m. Las mayores profundidades se concentran principalmente dentro del corredor del cauce y en sectores puntuales donde se presenta concentración del flujo.

En los tramos se observa que la lámina de agua supera la sección natural disponible, generando desbordamientos laterales y una mayor ocupación de las zonas adyacentes al cauce. Esta condición evidencia limitaciones en la capacidad

hidráulica de la geometría actual frente al evento de diseño analizado.
En consecuencia, los resultados obtenidos indican la necesidad de definir una sección hidráulica adecuada que permita mejorar la capacidad de conducción del cauce y reducir las condiciones de desbordamiento identificadas para el escenario de Tr = 50 años.

9.7. VELOCIDADES DE LOS FLUJOS SUPERFICIALES OBTENIDAS

Ilustración 47. Mapa de general de velocidades.



Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

La determinación de las velocidades del flujo superficial permitió identificar los corredores principales de escorrentía dentro del área modelada. Como se observa en la Ilustración 47, En la modelación hidráulica se observan velocidades que varían aproximadamente entre 0,16 m/s y 1,95 m/s. La mayor parte del tramo presenta velocidades inferiores a 1,20 m/s, mientras que en sectores puntuales se registran incrementos superiores a 1,50 m/s, alcanzando valores cercanos a 1,95 m/s. Estas mayores velocidades se concentran en zonas específicas del cauce y representan los sectores de mayor exigencia hidráulica dentro del tramo analizado. Estas condiciones generan una aceleración localizada del flujo y permiten identificar los sectores con mayor solicitación hidráulica.

En consecuencia, estos resultados deben considerarse para la definición de la sección hidráulica de diseño y para evaluar la necesidad de medidas de protección frente a procesos de erosión o socavación en los sectores donde se presentan las mayores velocidades.

10. MODELO HIDRÁULICO CONDICIONES PROYECTADAS

Con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico del Caño El Bien Común bajo las condiciones propuestas de intervención, se desarrolló el modelo correspondiente al escenario proyectado, incorporando las adecuaciones requeridas sobre la sección hidráulica del cauce. Este escenario tiene como propósito mejorar la capacidad de conducción, favorecer la continuidad del flujo y reducir la ocurrencia de desbordamientos en los sectores donde la condición existente presenta restricciones hidráulicas.

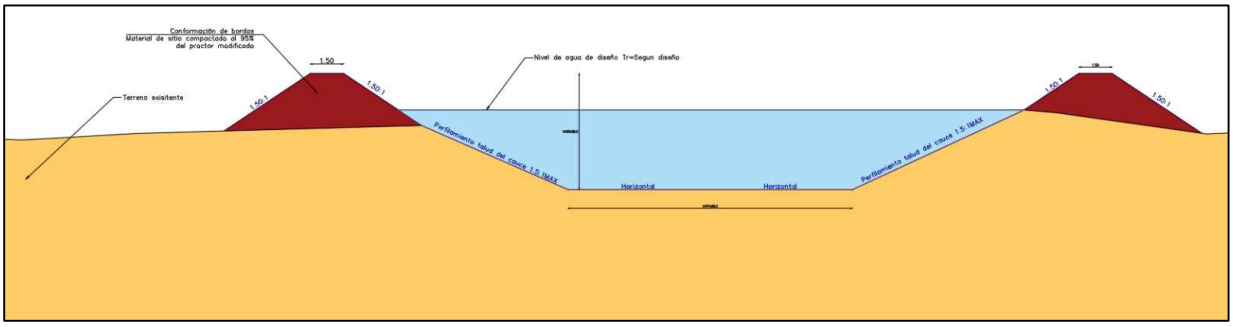
La solución propuesta contempla el reperfilamiento de los taludes y la conformación de bordas laterales, de manera que se genere una sección hidráulica con mayor capacidad y mejores condiciones de confinamiento del flujo. La geometría adoptada fue definida a partir de las características topográficas del cauce, las condiciones existentes del terreno y los resultados obtenidos mediante la modelación hidráulica.

Para la conformación de los taludes se adopta una inclinación máxima de 1,5H:1V. En aquellos sectores donde el talud existente presente una inclinación más tendida que la definida para el diseño, se conservará su geometría actual, evitando intervenciones innecesarias y manteniendo la estabilidad de las márgenes.

Complementariamente, se proyecta la conformación de bordas laterales con un ancho de 1,50 m, cuyas cotas superiores varían entre 10,77 m y 11,85 m, de acuerdo con las condiciones topográficas e hidráulicas particulares de cada tramo. Estas bordas permiten incrementar el confinamiento de la lámina de agua y disponer de un borde libre respecto al nivel máximo alcanzado durante el evento de diseño, contribuyendo a reducir el riesgo de rebose sobre las márgenes.

La geometría definitiva de la sección, las cotas de las bordas, las dimensiones y demás características específicas de la intervención se presentan detalladamente en los planos de diseño elaborados por la presente consultoría, los cuales constituyen el documento de referencia para la ejecución de las obras propuestas.

Ilustración 48. Sección de solución planteada

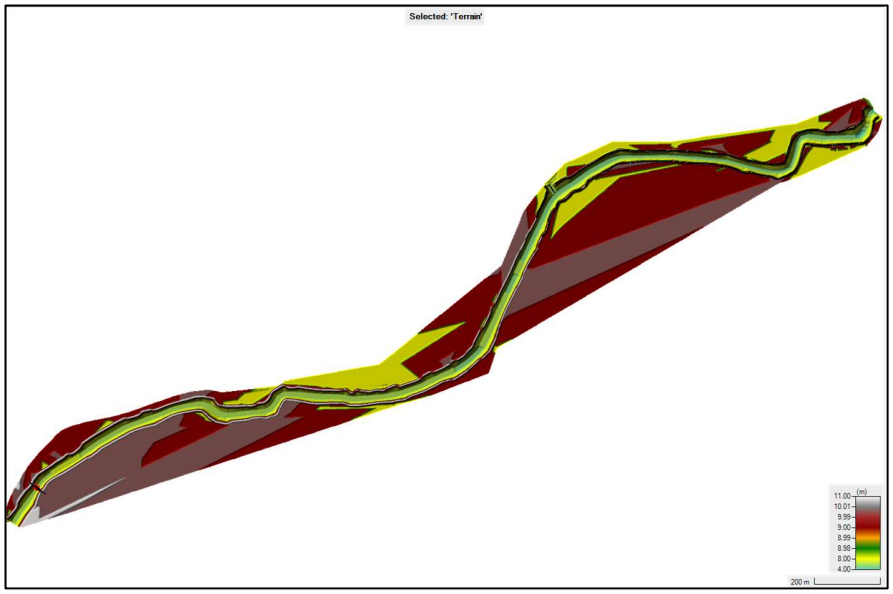


Fuente: Elaboración propia

10.1. CONFIGURACIÓN DE LA BASE TOPOGRÁFICA (DEM)

A partir del levantamiento topográfico realizado en el tramo de estudio del Caño El Bien Común, se generó el modelo digital de elevación utilizado como base para la representación del terreno. Sobre esta superficie se incorporó la geometría de la sección hidráulica proyectada, obteniendo así el terreno correspondiente a las condiciones propuestas de intervención.

Ilustración 49. Modelo digital de elevación del Caño El Bien Común.



Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento topográfico.

El modelo resultante representa tanto las características del terreno existente como las modificaciones previstas en el cauce para mejorar su funcionamiento hidráulico. La superficie presenta elevaciones comprendidas aproximadamente entre 4.00 m y 11.00 m, de acuerdo con las condiciones altimétricas del corredor analizado y la geometría incorporada para la solución propuesta.

Esta superficie constituye la base geométrica empleada para la modelación hidráulica del escenario proyectado, permitiendo representar la configuración del cauce después de la intervención y evaluar los cambios en los niveles de agua, profundidades, velocidades y distribución del flujo.

Se presenta el modelo digital de elevación correspondiente a la proyección en el Caño El Bien Común ver Ilustración 49.

Para la construcción del modelo hidráulico en condiciones proyectadas se utilizó la superficie topográfica de detalle disponible, con una resolución de 1 m × 1 m, sobre la cual se incorporó la geometría correspondiente a la sección propuesta para el Caño El Bien Común.

A partir de esta superficie se definió la geometría del modelo y la malla de cálculo bidimensional, permitiendo representar las condiciones proyectadas del cauce y del terreno adyacente. Esta configuración fue utilizada para simular el comportamiento hidráulico del sistema, analizar los niveles de agua, las profundidades y las velocidades de flujo, y verificar el funcionamiento de la solución propuesta.

10.2. DISCRETIZACIÓN DE LA MALLA DE CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE RUGOSIDAD

El coeficiente de Manning representa la resistencia que presenta la superficie al paso del flujo y depende de condiciones como la vegetación, la irregularidad del terreno, la presencia de obstrucciones y las características del cauce.

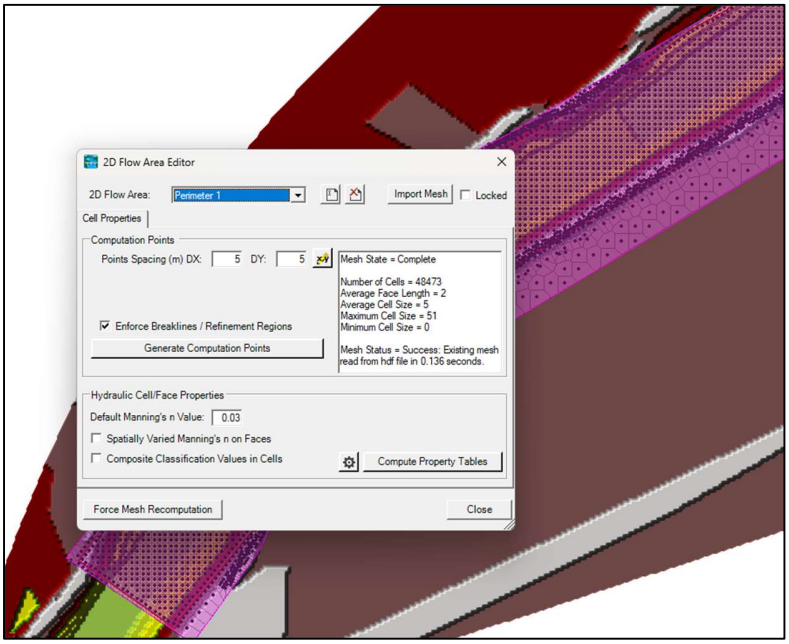
Para la modelación hidráulica de las condiciones proyectadas se mantuvo el mismo coeficiente de rugosidad utilizado en la modelación de las condiciones iniciales, adoptando un valor de n = 0.030. Este valor corresponde a canales en tierra y se encuentra dentro de los rangos recomendados por Chow (1959) para cauces con características similares.

La adopción del mismo valor de rugosidad en ambos escenarios permite comparar directamente el comportamiento hidráulico antes y después de la intervención, de manera que las diferencias obtenidas en niveles, profundidades y velocidades estén asociadas principalmente a los cambios en la geometría proyectada del cauce.

La geometría del modelo se definió mediante la delimitación del dominio bidimensional sobre el área de estudio, utilizando la superficie correspondiente a las condiciones proyectadas. Sobre este dominio se generó la malla de cálculo empleada en la simulación hidráulica, adoptando un tamaño base de celda de 5 m × 5 m, con el fin de representar adecuadamente la variación del terreno y las

principales trayectorias del flujo.

Ilustración 50. Discretización de la Malla de Cálculo y asignación de Manning.



Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

Adicionalmente, se incorporaron regiones de refinamiento con tamaño de celda de 2 m × 2 m en los sectores de mayor interés hidráulico, especialmente sobre el eje del cauce y áreas donde se requería una representación más detallada del comportamiento del flujo. Esta configuración permitió mejorar la precisión del modelo sin perder estabilidad numérica durante la simulación.

Como resultado, se obtuvo una malla bidimensional adecuada para representar el comportamiento hidráulico del cauce y las posibles zonas de inundación asociadas al proyecto.

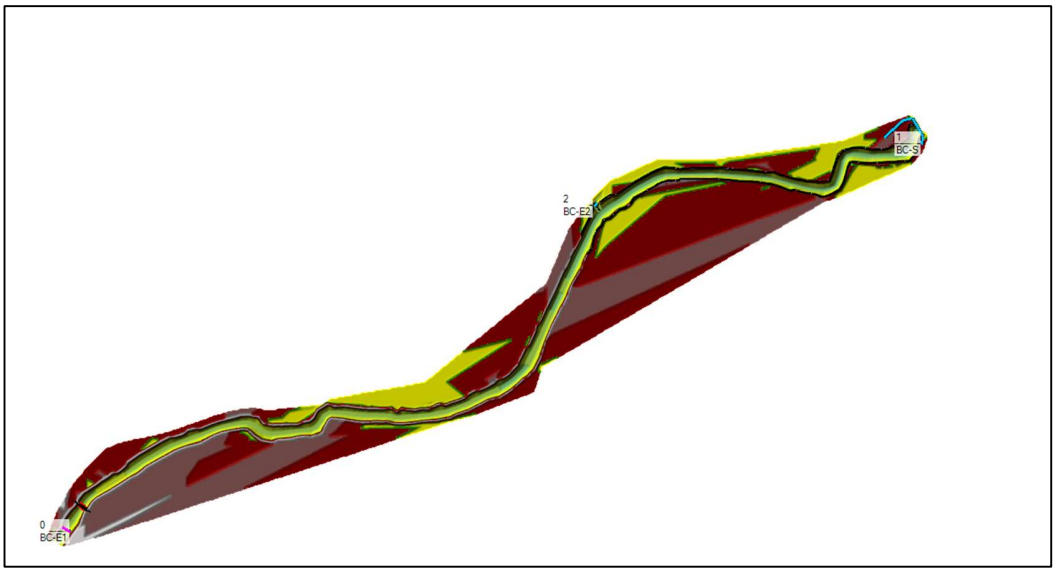
10.3. MODELO DE LLUVIA IMPLEMENTADO

Para la modelación en condiciones proyectadas se mantuvieron las mismas condiciones hidrológicas utilizadas en el escenario inicial, correspondientes a un periodo de retorno de 50 años. Se conservaron como entradas el hidrograma del Caño El Bien Común, con un caudal pico aproximado de 97,8 m³/s, y el aporte del Caño La Virgen, con un caudal máximo de 56,78 m³/s.

Ambos aportes fueron incorporados de manera independiente en el modelo 2D de HEC-RAS. Al mantener las mismas condiciones de entrada en ambos escenarios, los cambios obtenidos en niveles, profundidades y velocidades permiten evaluar directamente el efecto de la geometría proyectada del cauce.

10.4. CRITERIOS DE ANÁLISIS PARA LA SALIDA DEL FLUJO

Ilustración 51. Ubicación de Salida y entradas.



Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

Para la modelación en condiciones proyectadas se mantuvieron las mismas condiciones de salida utilizadas en el escenario inicial. La evacuación del flujo se definió en las fronteras denominadas Salida, ubicadas en las zonas de menor cota y coincidentes con la dirección natural de drenaje del terreno.

Se conservó el criterio de Profundidad Normal (Normal Depth), con una pendiente de fricción de 0,01 m/m, así como un tiempo total de simulación de 83 horas, permitiendo el tránsito y la evacuación completa del flujo dentro del dominio modelado.

Al mantener estas mismas condiciones de frontera en ambos escenarios, la comparación permite identificar con mayor claridad los cambios asociados a la geometría proyectada del Caño El Bien Común.

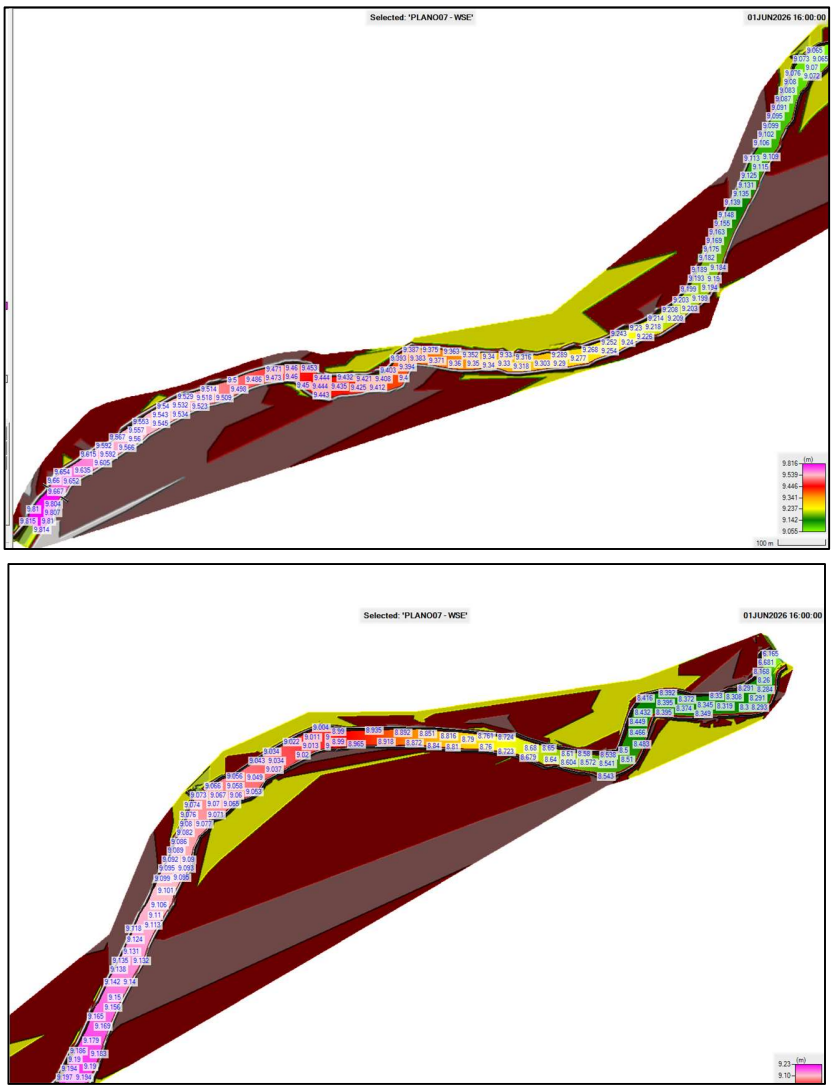
10.5. DETERMINACIÓN DE COTA DE INUNDACIÓN (WSE)

El análisis de las cotas de inundación se orientó a evaluar el comportamiento hidráulico del cauce durante los eventos de diseño, con el fin de identificar los niveles máximos de superficie de agua, las zonas de desbordamiento y la posible influencia sobre el área del proyecto.

Para el escenario de Tr = 50 años, presentado en la Ilustración 44, os niveles de agua presentan una variación gradual a lo largo del cauce, con valores aproximados entre 9.05 m y 9,81 m, de acuerdo con las condiciones altimétricas

y la geometría del tramo modelado. Estas elevaciones corresponden a la superficie utilizada como base para la modelación hidráulica y condicionan la distribución espacial de los niveles y profundidades de flujo dentro del dominio bidimensional.

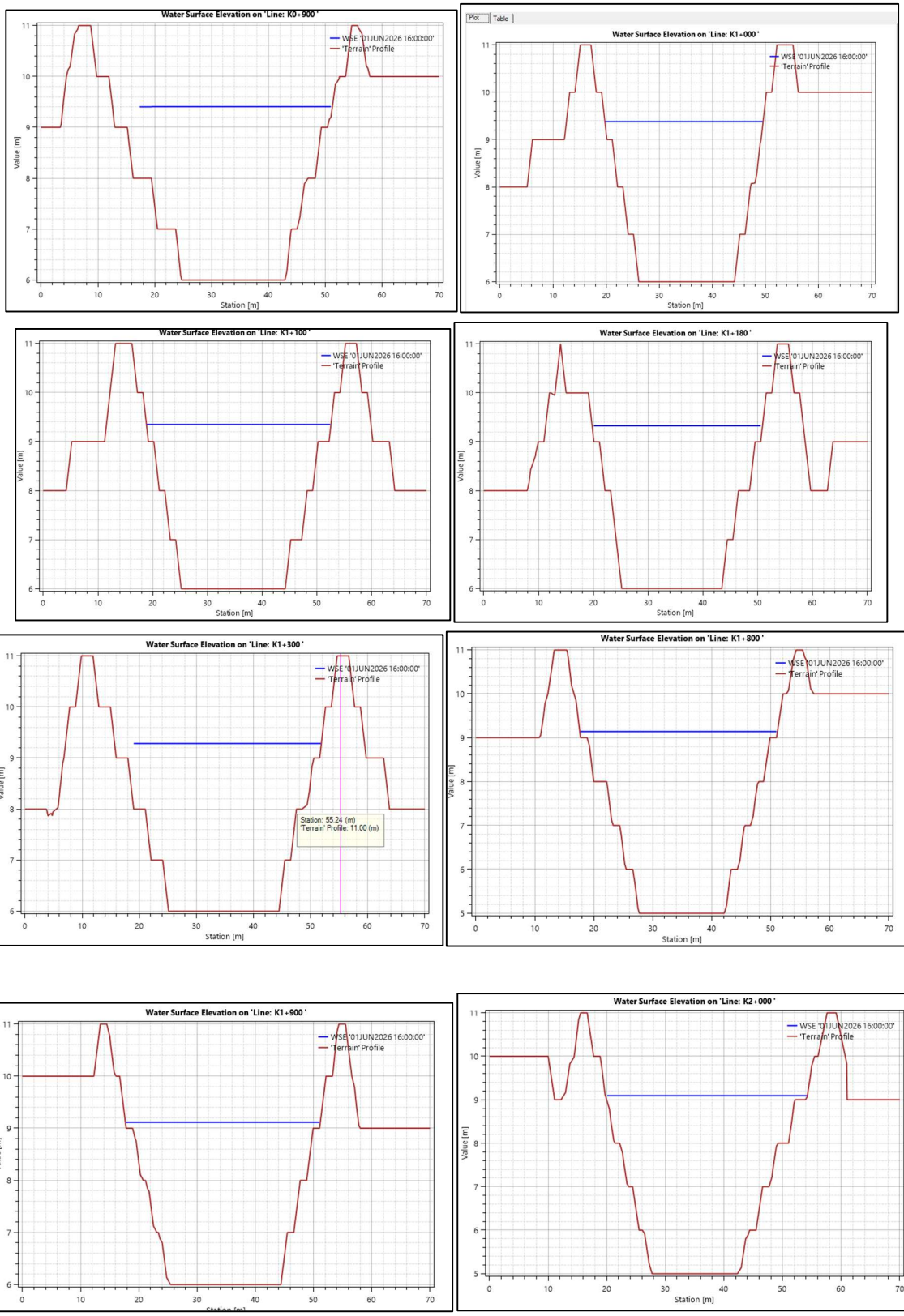
Ilustración 52. Superficie del nivel del agua (WSE), Tr=50 AÑOS.

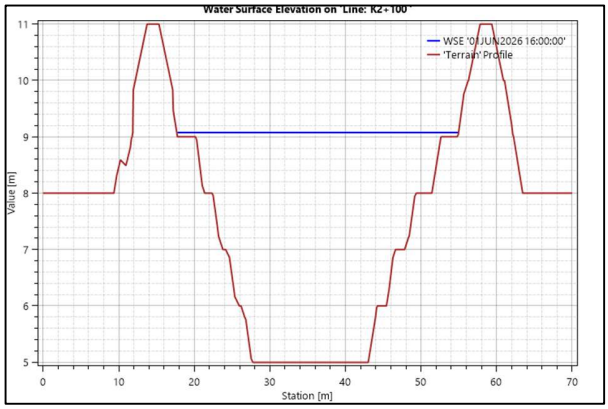


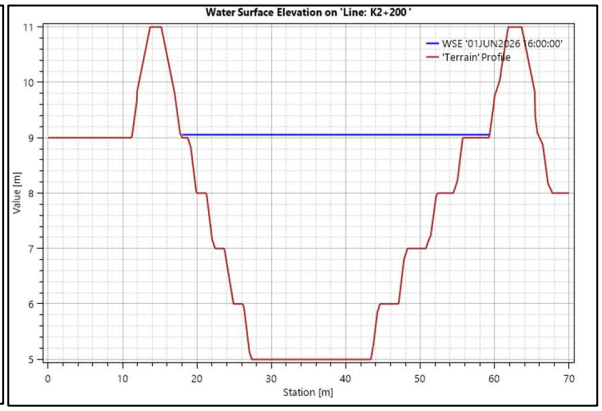
Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

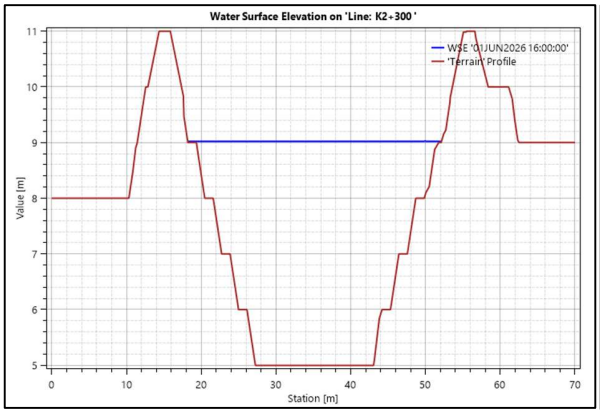
Los resultados muestran que la sección proyectada permite una conducción más definida del flujo dentro del cauce, especialmente en los sectores donde en la condición inicial se presentaban limitaciones de capacidad hidráulica. Asimismo, en la zona de confluencia con el Caño La Virgen se observa la influencia conjunta de ambos aportes, pero con una mejor conducción del flujo respecto a la geometría inicial.

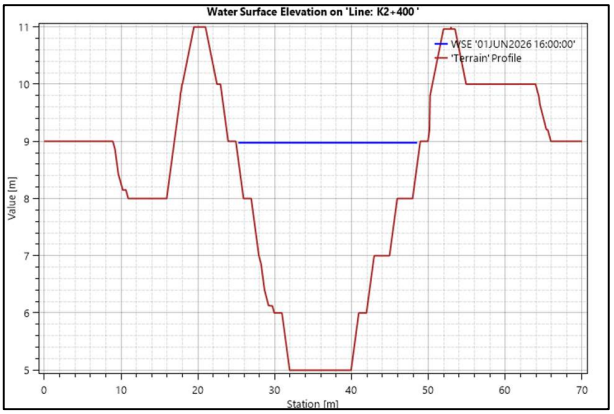
Ilustración 53. Secciones transversales del cauce proyectado y niveles de lámina de agua obtenidos mediante modelación hidráulica en HEC-RAS.

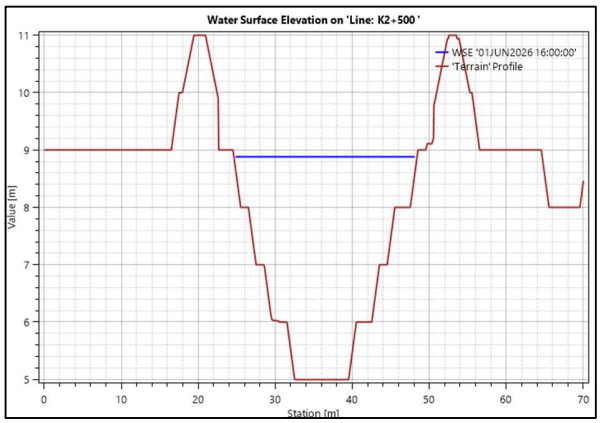


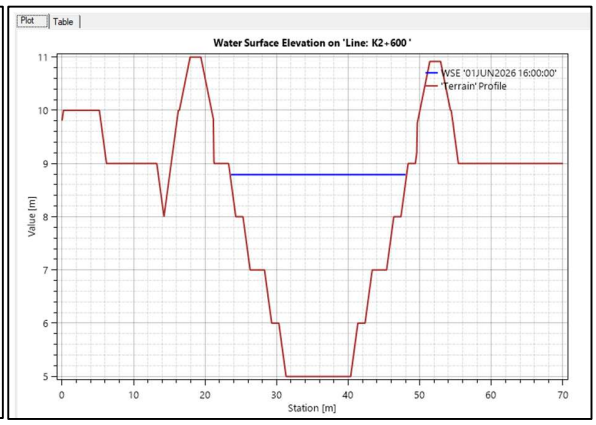

Water Surface Elevation on 'Line: K2+100 '
WSE '01JUN2026 16:00:00'
'Terrain' Profile
Value [m]
Station [m]

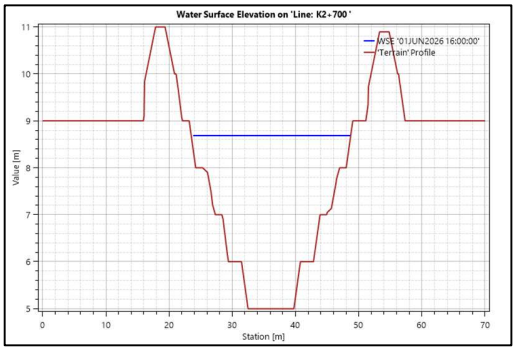

Water Surface Elevation on 'Line: K2+200 '
WSE '01JUN2026 16:00:00'
'Terrain' Profile
Value [m]
Station [m]

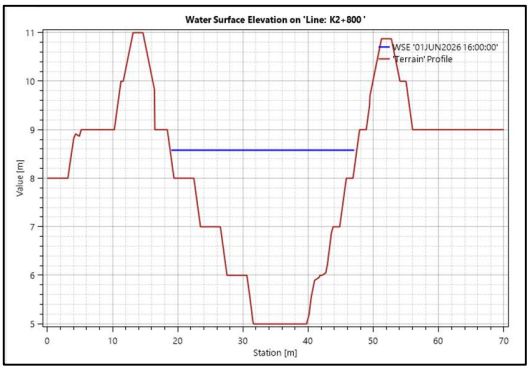

Water Surface Elevation on 'Line: K2+300 '
WSE '01JUN2026 16:00:00'
'Terrain' Profile
Value [m]
Station [m]

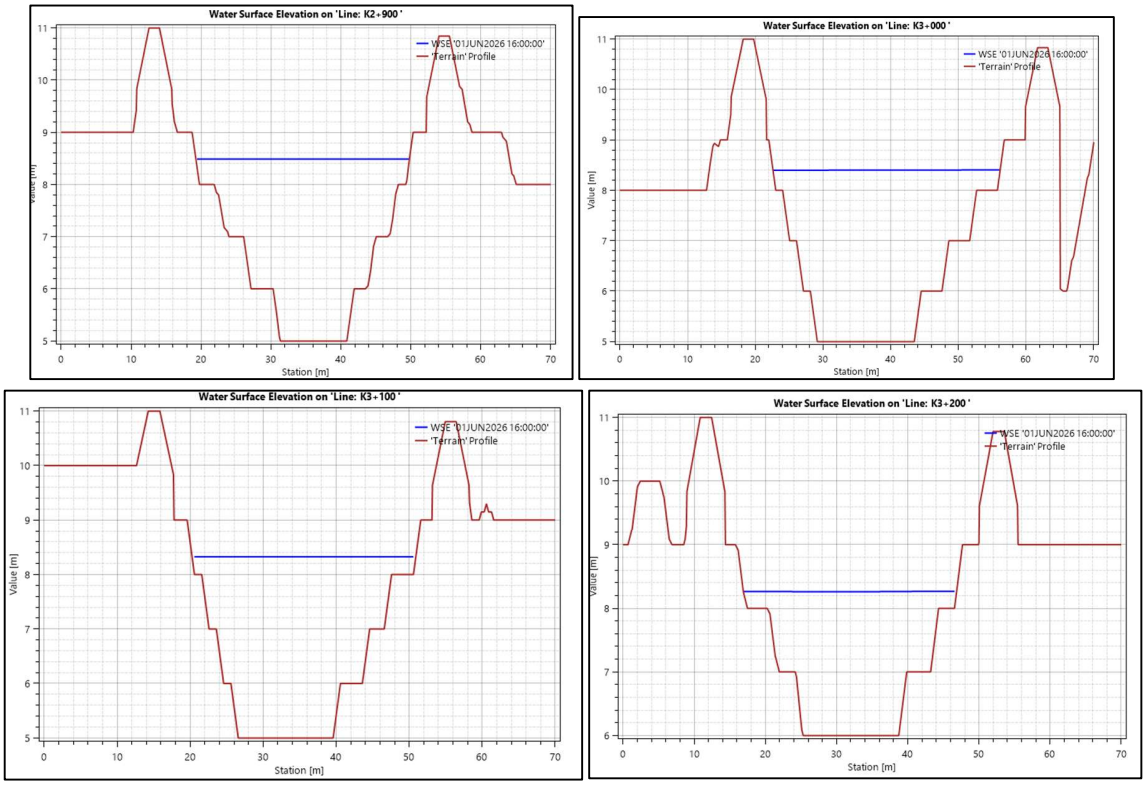

Water Surface Elevation on 'Line: K2+400 '
WSE '01JUN2026 16:00:00'
'Terrain' Profile
Value [m]
Station [m]


Water Surface Elevation on 'Line: K2+500 '
WSE '01JUN2026 16:00:00'
'Terrain' Profile
Value [m]
Station [m]


Plot
Table
Water Surface Elevation on 'Line: K2+600 '
WSE '01JUN2026 16:00:00'
'Terrain' Profile
Value [m]
Station [m]


Water Surface Elevation on 'Line: K2+700 '
WSE '01JUN2026 16:00:00'
'Terrain' Profile
Value [m]
Station [m]


Water Surface Elevation on 'Line: K2+800 '
WSE '01JUN2026 16:00:00'
'Terrain' Profile
Value [m]
Station [m]



Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

En términos generales, la adecuación propuesta mejora el comportamiento hidráulico del Caño El Bien Común, al proporcionar una sección con mayor capacidad para conducir el caudal correspondiente al evento de diseño de 50 años. De acuerdo con los resultados de la modelación hidráulica, la lámina de agua se mantiene contenida dentro de la sección proyectada del cauce, sin sobrepasar las cotas de las márgenes en las secciones evaluadas. Adicionalmente, se conserva un borde libre entre el nivel máximo de la superficie del agua y la corona de la sección, lo cual proporciona un margen de seguridad hidráulica frente a variaciones locales del flujo y contribuye a reducir el riesgo de desbordamiento.

10.6. DETERMINACIÓN LA ALTURA DEL AGUA ACUMULADA SOBRE EL TERRENO

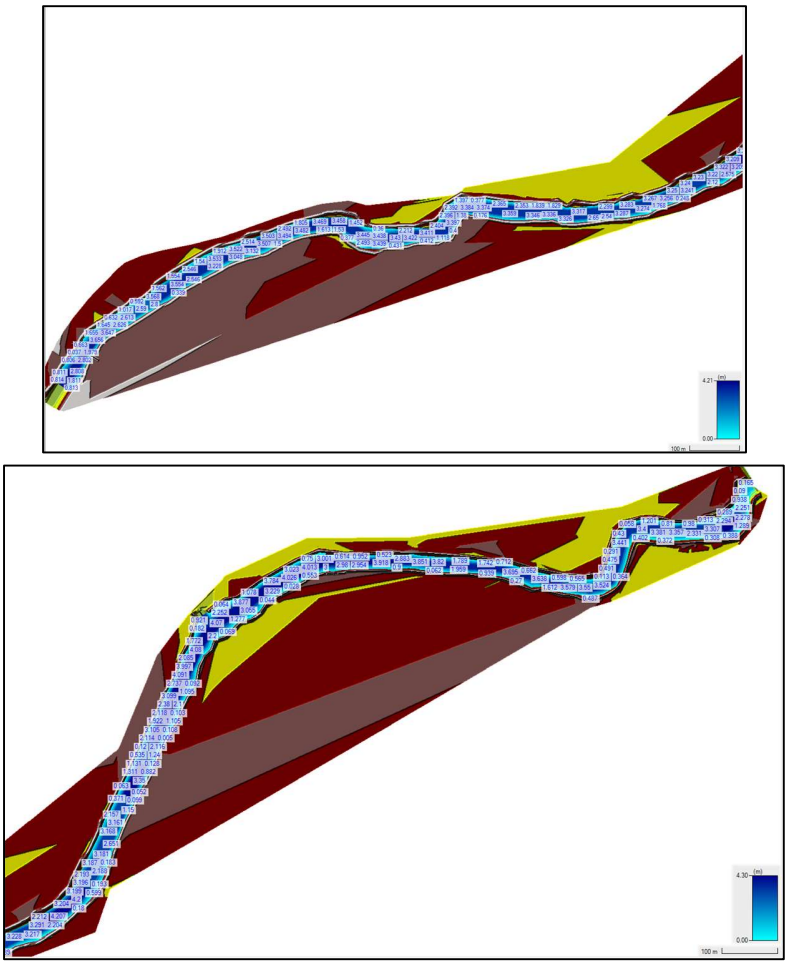
El análisis de profundidad de flujo permitió evaluar el comportamiento de la escorrentía superficial generada por los eventos de diseño de Tr = 50 años, considerando las condiciones topográficas y parámetros hidráulicos definidos en el modelo bidimensional.

Los resultados presentados en la Ilustración 54 muestran profundidades que

varían aproximadamente entre 0,00 m y 4,30 m. Las mayores profundidades se concentran principalmente dentro del corredor del cauce y en sectores puntuales asociados a la confluencia y a zonas de mayor concentración del flujo, mientras que en las áreas laterales predominan profundidades menores.

En general, se observa que la sección proyectada permite conducir el flujo de manera más definida dentro del cauce, reduciendo la dispersión lateral del agua en comparación con la condición inicial. No obstante, se presentan variaciones locales de profundidad asociadas a la geometría del canal y a la interacción hidráulica entre el Caño El Bien Común y el Caño La Virgen.

Ilustración 54. Profundidades simuladas en el área del proyecto para Tr = 50 años.



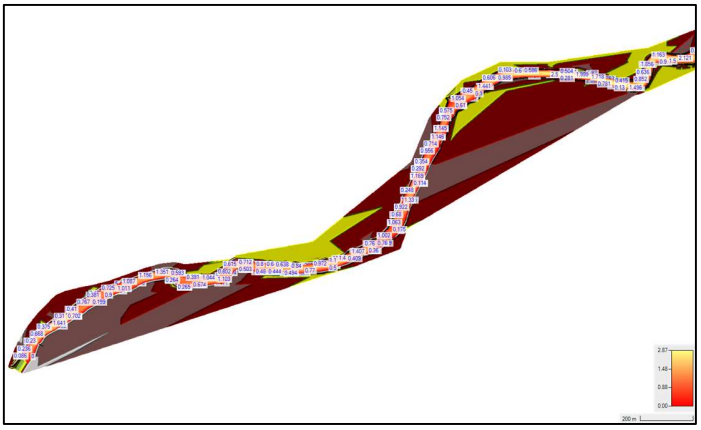
Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

En consecuencia, los resultados indican que la geometría propuesta mejora la capacidad de conducción del cauce para el escenario de Tr = 50 años, permitiendo un comportamiento hidráulico más controlado dentro del tramo intervenido.

10.7. VELOCIDADES DE LOS FLUJOS SUPERFICIALES OBTENIDAS

La gráfica presenta la variación de la velocidad del flujo a lo largo del tramo modelado del Caño El Bien Común para el escenario proyectado de Tr = 50 años. En la mayor parte del perfil, las velocidades se mantienen aproximadamente entre 1,0 y 1,8 m/s, mostrando un comportamiento relativamente uniforme.

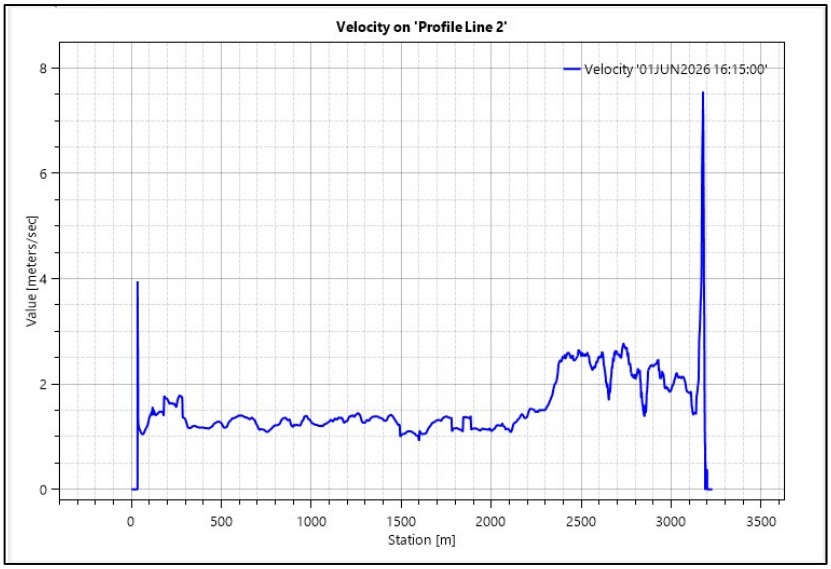
Ilustración 55. Mapa de general de velocidades.



Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

A partir de aproximadamente la abscisa 2.300 m, se observa un aumento progresivo de las velocidades, alcanzando valores frecuentes entre 2,0 y 2,87 m/s.

Ilustración 56. Perfil longitudinal de velocidades del Caño El Bien Común para Tr = 50 años en condiciones proyectadas.



Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

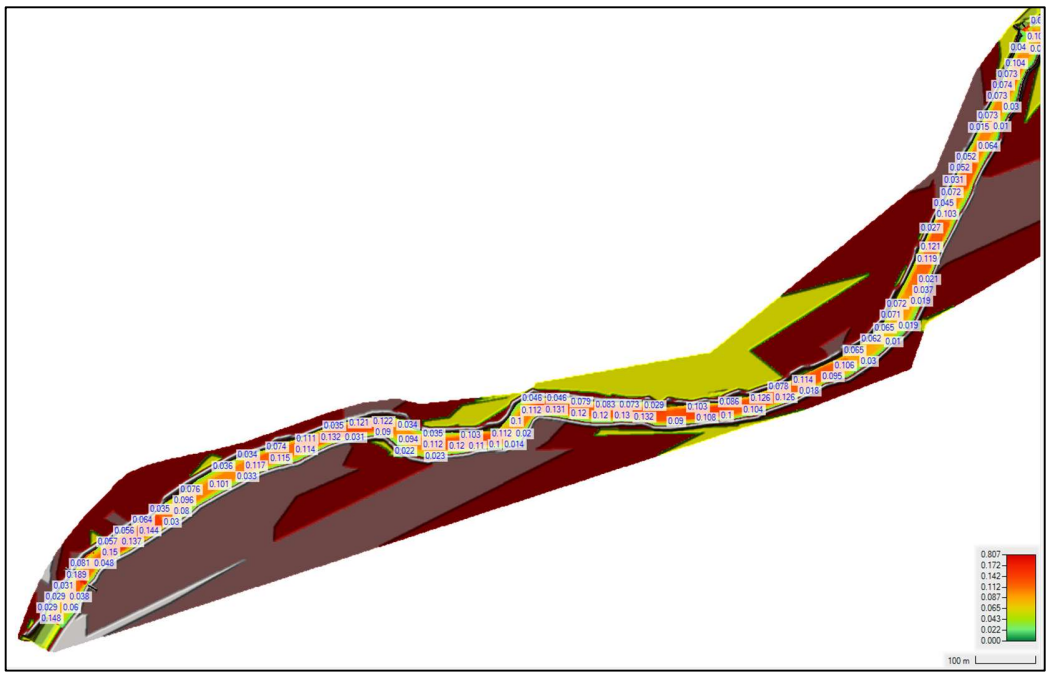
Estos valores máximos se localizan en los extremos del dominio y están asociados principalmente a las condiciones de entrada y salida del modelo hidráulico, por lo que no representan el comportamiento predominante del flujo a lo largo del cauce. En general, la distribución obtenida muestra que la mayor parte del tramo mantiene velocidades inferiores a 3,0 m/s.

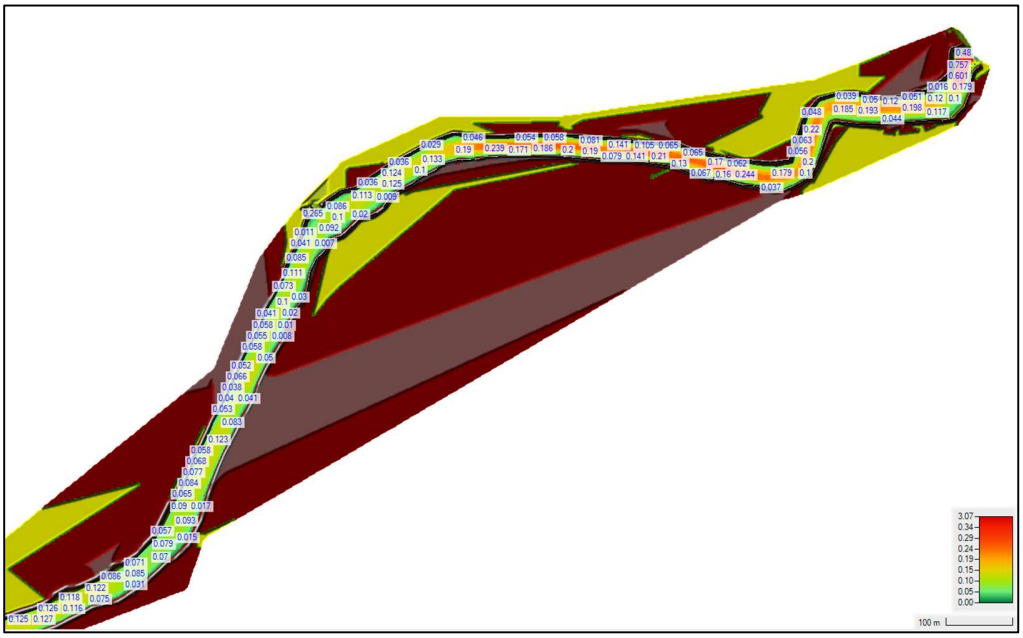
En términos generales, la mayor parte del tramo presenta velocidades moderadas, mientras que los incrementos localizados al inicio y al final deben ser revisados con mayor detalle, debido a que pueden estar asociados a cambios en la geometría, condiciones de entrada o salida y variaciones locales de la pendiente. Estos sectores deberán considerarse para verificar la necesidad de medidas de protección frente a procesos de erosión o socavación.

10.8. NÚMERO DE COURANT Y ESTABILIDAD DEL MODELO

Como parte de la revisión de la estabilidad numérica del modelo hidráulico se evaluó la distribución del número de Courant dentro del dominio bidimensional. Los resultados muestran que, en la mayor parte del tramo modelado, predominan valores inferiores a 1,0, generalmente bajos, lo que indica una adecuada relación entre el tamaño de las celdas, el paso de tiempo utilizado y la velocidad de propagación del flujo.

Ilustración 57. Distribución del número de Courant en el modelo bidimensional para Tr = 50 años.





Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

Se observan algunos valores mayores de forma puntual, principalmente en sectores localizados asociados a cambios en la geometría, condiciones de entrada y salida y zonas de mayor concentración del flujo. Estos valores no representan el comportamiento general del dominio.

En términos generales, la distribución del número de Courant evidencia un comportamiento numérico estable del modelo, sin observarse valores elevados de manera continua a lo largo del cauce. Por tanto, la configuración adoptada permite representar adecuadamente la propagación del flujo para el escenario de Tr = 50 años.

10.9. ESFUERZO CORTANTE

Para evaluar la posibilidad de erosión en el cauce se compararon los resultados obtenidos en la modelación hidráulica con los valores máximos permisibles de velocidad y fuerza tractiva establecidos en la normativa.

Para el análisis se adoptó como criterio una velocidad admisible de 0,75 m/s y un esfuerzo cortante admisible de 0,37 kg/m², equivalente aproximadamente a 3,63 Pa. Estos valores fueron utilizados como referencia para identificar los sectores donde las condiciones hidráulicas pueden generar erosión sobre el fondo o las márgenes del cauce.

A partir de los resultados de HEC-RAS se localizaron las zonas donde la velocidad supera 0,75 m/s y aquellas donde el esfuerzo cortante es mayor a 3,63 Pa. Los sectores donde se presentan estas condiciones fueron considerados como puntos

de mayor exigencia hidráulica por tanto como zonas que requieren especial atención dentro del diseño de las medidas de protección y estabilización.

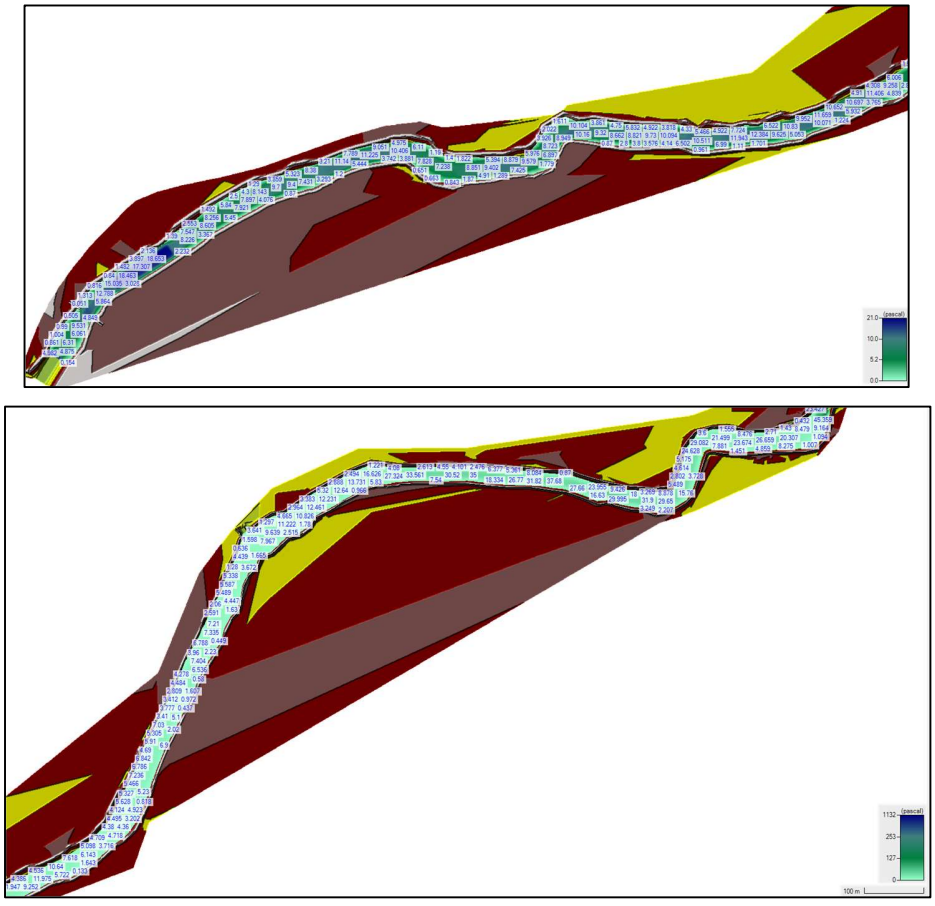
Ilustración 58. Velocidades y fuerza tractiva máximas permisibles.

TIPO DE TERRENO	AGUA CLARA		AGUA CON SEDIMENTOS COLOIDALES (*)	
	V(m/s)	τ(kg/m²)	V(m/s)	τ(kg/m²)
Arena fina coloidal	0.45	0.13	0.75	0.37
Limo arenoso no coloidal	0.50	0.18	0.75	0.37
Sedimentos limosos	0.60	0.23	0.90	0.54
Sedimentos aluviales no coloidal	0.60	0.23	1.00	0.73
Limo	0.75	0.37	1.00	0.73
Ceniza volcánica	0.75	0.37	1.00	0.73
Arcilla dura	1.15	1.27	1.50	2.25
Sedimentos aluviales coloidal	1.15	1.27	1.50	2.25
Pizarras	1.80	3.27	1.80	3.27
Grava	0.75	0.37	1.50	1.56
Limo a ripio, suelo no coloidales	1.15	1.86	1.50	3.23
Limo a ripio, suelo coloidal	1.20	2.10	1.60	3.91
Grava gruesa	1.20	1.47	1.80	3.27
Bolos	1.50	4.44	1.60	5.38

(*) Por partículas coloidales se entienden aquellas de diámetro menor a 2 micrones en las cuales los efectos de las fuerzas de superficie prevalecen sobre los de las fuerzas gravitacionales.

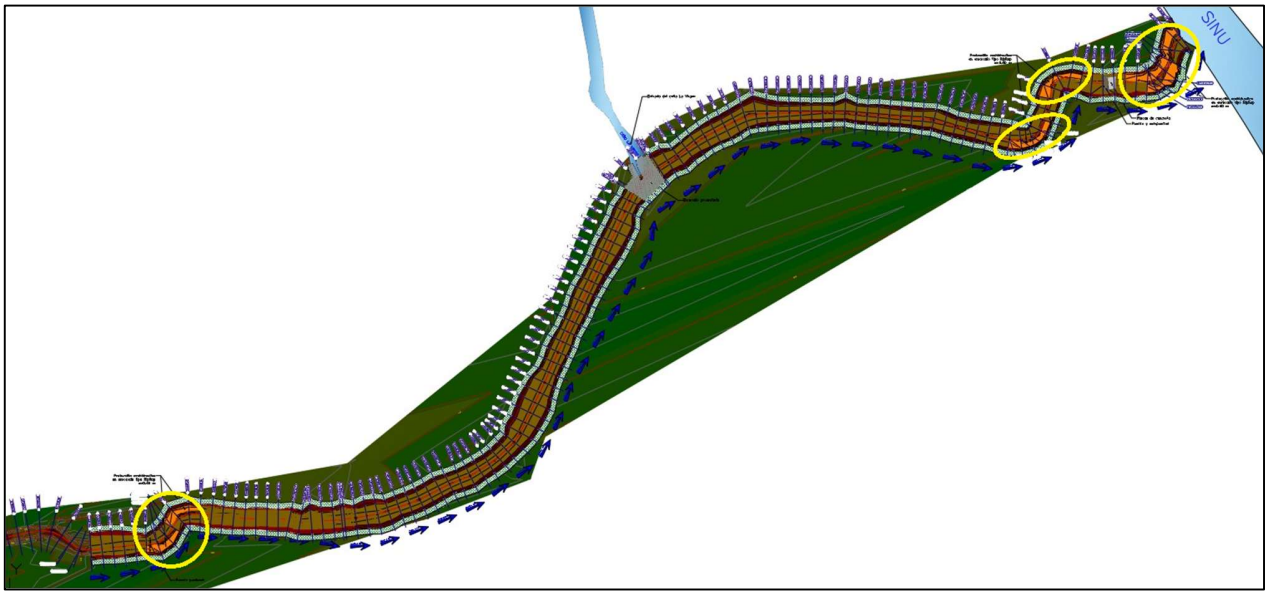
Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

Ilustración 59. Distribución del esfuerzo cortante en el Caño El Bien Común para Tr = 50 años.



Fuente: Elaboración propia en HEC-RAS.

Ilustración 60. Mejoramiento para evitar erosión en el cauce.

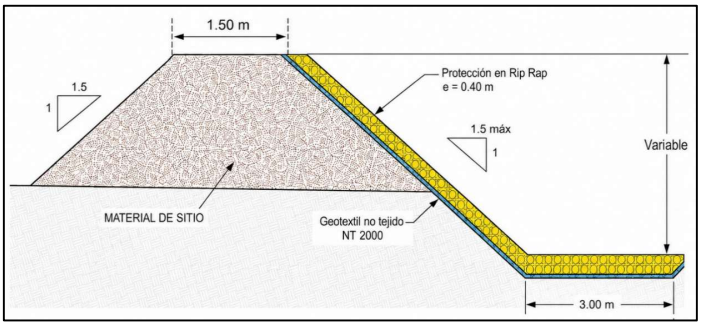


Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 60 se presentan los sectores identificados a partir de los resultados de la modelación hidráulica, correspondientes a las zonas donde se registran las mayores condiciones de exigencia asociadas a la velocidad del flujo y al esfuerzo cortante. Estas áreas permiten reconocer espacialmente los sectores con mayor susceptibilidad a procesos erosivos sobre el fondo y las márgenes del cauce, constituyendo puntos de especial consideración para la definición de las medidas de protección y estabilización mediante Rip-Rap. El detalle de la sección y de la solución propuesta para estos sectores se presenta en la Ilustración 61 e Ilustración 48.

La localización y delimitación detallada de los sectores críticos se presenta en los planos anexos al proyecto, donde pueden consultarse con mayor precisión las zonas identificadas a lo largo del tramo de intervención.

Ilustración 61. Protección y estabilización.



Fuente: Elaboración propia.

11. COMPONENTE AMBIENTAL DE LA INTERVENCIÓN

El proyecto "Recuperación ambiental y de la conectividad hidrológica de un tramo del Caño El Bien Común en el municipio de San Pelayo, departamento de Córdoba" se concibe bajo un enfoque integral en el cual las actuaciones hidráulicas y de adecuación física del cauce se articulan con medidas orientadas a la recuperación y protección de sus condiciones ambientales.

En este sentido, la intervención busca no solamente mejorar la capacidad hidráulica y favorecer la continuidad del flujo a lo largo del tramo objeto de estudio, sino también contribuir a la recuperación del corredor asociado al caño, mediante acciones que permitan mejorar las condiciones de sus márgenes, fortalecer la cobertura vegetal, reducir los procesos de degradación y favorecer la estabilidad y funcionalidad ambiental del sistema.

11.1. CONFORMACIÓN DE BOSQUE DE GALERÍA

Se proyecta la conformación de un bosque de galería en una franja de 10,00 m de ancho, localizada posteriormente a las bordas hidrológicas proyectadas a lado y lado del tramo de estudio, específicamente en aquellas áreas donde actualmente no se dispone de cobertura vegetal adecuada.

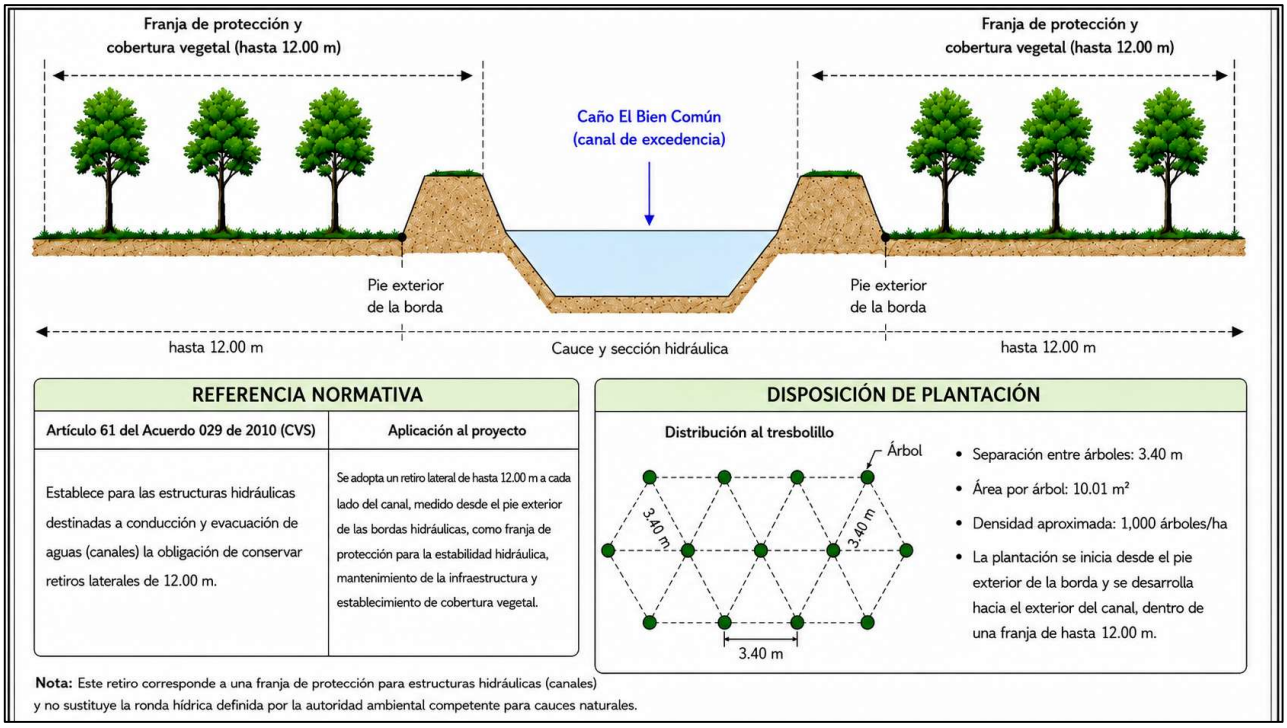
De acuerdo con las condiciones climáticas y ambientales características del municipio de San Pelayo, se contempla el establecimiento de especies arbóreas nativas y adaptadas a la región, entre las cuales se encuentran Campano (*Samanea saman*), Ceiba (*Ceiba pentandra*), Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*), Orejero (*Enterolobium cyclocarpum*), Caracolí (*Anacardium excelsum*), Guamo (*Inga edulis*) y Nigua (*Celtis iguanaea*). Estas especies contribuyen a la estabilidad ecológica, recuperación de la cobertura vegetal, protección del suelo y enriquecimiento del hábitat asociado al corredor hídrico. Asimismo, podrá considerarse la alternancia con especies como totumo y guácimo, con el propósito de favorecer la diversidad estructural del paisaje y proporcionar alimento y refugio para la fauna local.

Para garantizar una adecuada adaptación y desarrollo de las especies vegetales, se proyecta la siembra de árboles mediante una distribución a tresbolillo, con una separación de 3,40 m entre individuos y aproximadamente 2,94 m entre filas. Esta configuración corresponde a un área de ocupación aproximada de 10,00 m² por árbol, determinada a partir de la geometría asociada al arreglo de plantación adoptado.

El tramo objeto de intervención presenta longitudes diferenciadas en cada margen. Para la margen derecha se considera una longitud efectiva de 2.409,36 m igual que para la margen izquierda se adopta una longitud de 2.409,36 m. Considerando una franja de restauración de 10,00 m de ancho en cada margen, se obtiene un área de intervención de 24.093,60 m² en ambos márgenes.

Con base en la densidad de plantación adoptada, equivalente a aproximadamente 10,00 m² por individuo, se requieren 2.430 árboles en la margen derecha y 2.430 árboles en la margen izquierda, para un total inicial de 4.860 individuos arbóreos destinados a la conformación del bosque de galería.
Adicionalmente, se contempla un porcentaje de reposición del 10 %, correspondiente a 243 árboles para la margen derecha y 243 árboles para la margen izquierda, con el propósito de compensar posibles pérdidas durante la etapa inicial de establecimiento y adaptación de los individuos sembrados.
En consecuencia, se proyecta un total de 2.673 árboles en la margen derecha y 2.673 árboles en la margen izquierda, incluyendo la reposición prevista, para un total de 5.346 individuos arbóreos destinados a la conformación y recuperación del bosque de galería en ambas márgenes del tramo objeto de intervención.

Ilustración 62. Esquema de franja de protección y conformación de bosque de galería – Caño El Bien Común



Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Cantidad de árboles para bosque de galería.

Parámetro	Margen derecha	Margen izquierda	Total
Longitud (m)	2409.36	2409.36	4818.72
Ancho de franja (m)	10.00	10.00	—
Área de intervención (m²)	24093.60	24093.60	48187.20
Separación entre árboles (m)	3.40	3.40	—
Separación entre filas (m)	2.94	2.94	—
Área por árbol (m²)	10.00	10.01	—
Árboles requeridos	2430.00	2430.00	4860.00
Reposición (10 %)	243.00	243.00	486.00
Total de árboles proyectados	**2673.00**	**2673.00**	**5346.00**

Fuente: Elaboración propia.

11.2. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS A PROVEER

El Caño El Bien Común presenta condiciones de deterioro asociadas principalmente a la pérdida de cobertura vegetal, la acumulación de sedimentos, la erosión de sus márgenes y la reducción de su capacidad para conducir adecuadamente el flujo de agua.

Estas condiciones han afectado los servicios ecosistémicos que presta el cauce y su entorno.

Entre los servicios más afectados se encuentran los de regulación, relacionados con el control de la erosión, el manejo natural del agua y la estabilidad de las márgenes. También se han visto afectados los servicios de soporte, debido a la pérdida de vegetación y de espacios que sirven como hábitat para diferentes especies.

De igual manera, el deterioro del cauce puede limitar los servicios de aprovisionamiento, especialmente aquellos relacionados con la disponibilidad del recurso hídrico y el aprovechamiento de los recursos naturales del entorno. Asimismo, se han afectado los servicios culturales, debido a la pérdida de calidad del paisaje y de la relación de las comunidades con el caño.

Mediante las intervenciones propuestas en el proyecto "Recuperación ambiental y de la conectividad hidrológica de un tramo del Caño El Bien Común en el municipio de San Pelayo, departamento de Córdoba", se busca recuperar parte de estos servicios a través de las siguientes acciones:

- Recuperación de la conectividad hidrológica y control de sedimentación:

permitirá mejorar el paso del agua a lo largo del cauce, reducir zonas de obstrucción y favorecer un funcionamiento hidráulico más adecuado.

- Bordas hidrológicas: contribuirán a controlar los procesos de erosión, mejorar la estabilidad de las márgenes y disminuir el aporte de sedimentos hacia el cauce.
- Conformación de bosque de galería: permitirá recuperar la cobertura vegetal en las zonas intervenidas, proteger las márgenes, mejorar las condiciones del paisaje y generar espacios favorables para la fauna y la flora asociadas al cauce.

En conjunto, estas intervenciones permitirán mejorar las condiciones ambientales del Caño El Bien Común, fortalecer su funcionamiento hidráulico y recuperar progresivamente los servicios de regulación, soporte, aprovisionamiento y culturales asociados al sistema hídrico.

11.3. IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL DE LAS INTERVENCIONES

El proyecto "Recuperación ambiental y de la conectividad hidrológica de un tramo del Caño El Bien Común en el municipio de San Pelayo, departamento de Córdoba" fue planteado para mejorar las condiciones del cauce y de su entorno, procurando reducir al máximo los efectos negativos sobre la flora, la fauna y las comunidades cercanas.

Con las intervenciones propuestas se espera una mejora en el comportamiento del caño, especialmente por la recuperación de su capacidad hidráulica, la disminución de la sedimentación, la estabilización de las márgenes y la recuperación de la cobertura vegetal. Esto ayudará a mejorar el flujo del agua, reducir procesos de erosión y generar mejores condiciones ambientales en el área intervenida.

Durante la ejecución de las obras pueden presentarse afectaciones temporales sobre la vegetación, la fauna y el cauce. Sin embargo, estas actividades no buscan alterar de manera severa el sistema, sino corregir las condiciones que hoy afectan su funcionamiento. Por esta razón, las intervenciones deben realizarse de forma controlada, limitándose a las zonas necesarias y evitando daños innecesarios.

La recuperación de la conectividad hidrológica permitirá restablecer el paso del agua a lo largo del cauce y mejorar su relación con las áreas cercanas. Esto

favorece el funcionamiento natural del sistema y ayuda a recuperar parte de sus condiciones ambientales.

Asimismo, el control de sedimentos es uno de los principales beneficios esperados. Al reducir la erosión en las márgenes y disminuir el material que entra al cauce, se mejora la calidad del agua y se reducen problemas de colmatación. De igual forma, la recuperación de la vegetación ribereña ayudará a proteger el suelo y a disminuir el arrastre de sedimentos.

Las bordas hidrológicas contribuirán a mejorar la estabilidad de las márgenes y a controlar la erosión. Por su parte, la conformación de bosque de galería permitirá recuperar la cobertura vegetal, mejorar el paisaje y generar condiciones más favorables para la fauna y la flora del sector.

Desde el punto de vista social, estas intervenciones también representan beneficios para la comunidad, ya que contribuyen a mejorar las condiciones ambientales del entorno y a reducir problemas asociados al deterioro del caño.

En conjunto, las obras propuestas buscan mejorar la conectividad hidrológica, estabilizar las márgenes, recuperar la vegetación y fortalecer las condiciones ambientales del Caño El Bien Común, de manera que los efectos temporales de la construcción sean menores frente a los beneficios esperados a mediano y largo plazo.

11.4. INDICADOR DE IMPACTO AMBIENTAL

De acuerdo con la tipología operativa de acciones, el proyecto se enmarca principalmente en la modalidad de rehabilitación y/o regulación funcional, debido a que las intervenciones propuestas buscan recuperar las condiciones hidráulicas y ambientales del Caño El Bien Común, mejorar el funcionamiento del cauce, controlar la sedimentación, estabilizar sus márgenes y recuperar la cobertura vegetal asociada.

Para esta modalidad, el indicador se expresa como hectáreas en proceso de rehabilitación y/o regulación. En el caso del proyecto, el área principal corresponde a la cuenca aportante del Caño El Bien Común, con una superficie aproximada de 50,91 km², equivalentes a 5.091 ha.

Adicionalmente, dentro del sistema hídrico analizado se reconoce el aporte asociado al Caño La Virgen, cuya cuenca aportante comprende aproximadamente 40,38 km², equivalentes a 4.038 ha.

Esta área se considera como un aporte complementario dentro del funcionamiento hidrológico del sistema, mientras que el Caño El Bien Común constituye el eje principal de la intervención.

Por lo tanto, para efectos del seguimiento del impacto ambiental del proyecto, se adopta como indicador principal el área asociada al Caño El Bien Común, correspondiente a 50,91 km² (5.091 ha), sobre la cual se espera generar beneficios relacionados con la recuperación de la conectividad hidrológica, el control de sedimentos, la estabilización de márgenes y el mejoramiento de las condiciones ambientales del cauce.

Indicador: Hectáreas en proceso de rehabilitación y/o regulación funcional.

Meta del indicador: 5.091 ha, correspondientes a 50,91 km² asociados a la cuenca aportante del Caño El Bien Común.

Como referencia complementaria, el sistema recibe además aportes de la cuenca asociada al Caño La Virgen, con un área de 40,38 km² (4.038 ha).

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El análisis hidrológico e hidráulico desarrollado permitió evaluar el comportamiento del Caño El Bien Común para un periodo de retorno de 50 años, adoptado como escenario de diseño para verificar la capacidad de conducción del cauce y establecer las condiciones asociadas a eventos de creciente.
- La modelación hidrológica permitió establecer para el Caño El Bien Común un caudal pico aproximado de 97,8 m³/s, el cual fue incorporado como condición de entrada en el modelo hidráulico bidimensional. Adicionalmente, se consideró el aporte del Caño La Virgen, con un caudal máximo aproximado de 56,78 m³/s, permitiendo representar conjuntamente la interacción hidráulica de ambos aportes dentro del dominio modelado.
- La evaluación hidráulica de las condiciones iniciales evidenció sectores con capacidad hidráulica limitada y desbordamientos laterales, especialmente en la zona de confluencia entre el Caño El Bien Común y el Caño La Virgen, donde la interacción de ambos caudales incrementa los niveles de agua y la ocupación lateral del flujo. Estos resultados constituyeron la condición base para definir la geometría hidráulica de intervención.
- La modelación hidráulica del escenario proyectado se desarrolló en HEC-RAS 2D, utilizando una superficie topográfica de detalle con resolución de 1 m × 1 m. Para la discretización hidráulica se adoptó una malla base de 5 m × 5 m, incorporando regiones de refinamiento de 2 m × 2 m en los sectores de mayor interés hidráulico, principalmente sobre el corredor del cauce.
- Para las condiciones iniciales y proyectadas se adoptó un coeficiente de rugosidad de Manning de n = 0,030, representativo de canales en tierra. Mantener el mismo coeficiente de rugosidad en ambos escenarios permitió que las diferencias observadas en niveles, profundidades y velocidades fueran atribuibles principalmente a las modificaciones realizadas sobre la geometría del cauce.

- Como condición de salida del modelo se empleó el criterio de Profundidad Normal (Normal Depth), adoptando una pendiente de fricción de 0,01 m/m. Asimismo, se estableció un tiempo total de simulación de 83 horas, suficiente para representar el tránsito y la evacuación del flujo dentro del dominio modelado.
- Para el escenario proyectado con Tr = 50 años, las cotas de la superficie de agua presentan valores aproximados entre 9.05 m y 9,81 m. Los resultados indican una conducción más definida dentro del cauce y una mejora en el comportamiento hidráulico respecto a la geometría inicial, particularmente en los sectores donde se habían identificado restricciones de capacidad.
- Las profundidades obtenidas para el escenario proyectado varían aproximadamente entre 0,00 m y 4,30 m, concentrándose los mayores valores dentro del corredor del cauce y en sectores asociados a la confluencia del flujo. La geometría propuesta permite reducir la dispersión lateral del agua y mantener una conducción más controlada dentro del tramo intervenido.
- En relación con las velocidades, en la mayor parte del perfil se presentan valores aproximadamente entre 1,0 y 1,8 m/s. A partir de la abscisa cercana a 2.300 m se observan incrementos frecuentes entre 2,0 y 2,7 m/s, mientras que los máximos puntuales ubicados en los extremos del dominio están asociados principalmente a las condiciones de entrada y salida del modelo y no representan el comportamiento predominante del cauce.
- La revisión del número de Courant indica que en la mayor parte del dominio predominan valores inferiores a 1,0, presentándose únicamente incrementos puntuales asociados a cambios de geometría, condiciones de frontera y zonas de mayor concentración del flujo. En términos generales, el modelo presenta un comportamiento numérico estable para el escenario analizado.
- Se recomienda ejecutar las medidas de protección previstas en los sectores identificados como de mayor exigencia hidráulica. La localización detallada de estas áreas deberá realizarse conforme a los planos anexos al proyecto.
- Las bordas hidrológicas, las medidas de protección frente a erosión y la

conformación del bosque de galería deberán ejecutarse de manera articulada, debido a que en conjunto buscan mejorar la estabilidad de las márgenes, controlar el aporte de sedimentos, recuperar la cobertura vegetal y favorecer la conectividad hidrológica y ambiental del Caño El Bien Común.

- Durante la ejecución de las obras se recomienda limitar las intervenciones a las áreas estrictamente necesarias, evitar afectaciones innecesarias sobre la vegetación y el cauce, controlar el manejo de sedimentos y garantizar la adecuada estabilización de los sectores intervenidos. Las afectaciones temporales propias del proceso constructivo deberán manejarse procurando que no comprometan la funcionalidad hidráulica ni ambiental del sistema.
- En términos generales, los resultados obtenidos indican que la geometría hidráulica proyectada mejora la capacidad de conducción del Caño El Bien Común para el evento de diseño de Tr = 50 años, permitiendo una conducción más definida del flujo y reduciendo las limitaciones identificadas en la condición inicial. No obstante, los sectores sometidos a mayores velocidades y esfuerzos cortantes requieren las medidas de protección definidas en el diseño.
- Como parte integral de la intervención, se proyecta la conformación de un bosque de galería en una franja de 10,00 m de ancho, localizada posteriormente a las bordas hidrológicas y en los sectores donde actualmente no se dispone de cobertura vegetal adecuada. La plantación se realizará mediante una distribución a tresbolillo, con una separación de 3,40 m entre individuos, equivalente a un área aproximada de ocupación de 10,01 m² por árbol, contribuyendo a la recuperación de la cobertura vegetal, la protección del suelo y la estabilización de las márgenes del cauce.
- Cualquier modificación que pueda afectar la sección hidráulica proyectada, las cotas, las bordas, las medidas de protección, la conformación del bosque de galería, las condiciones de drenaje o cualquier otro elemento definido en el diseño deberá ser previamente revisada y aprobada por el profesional responsable.

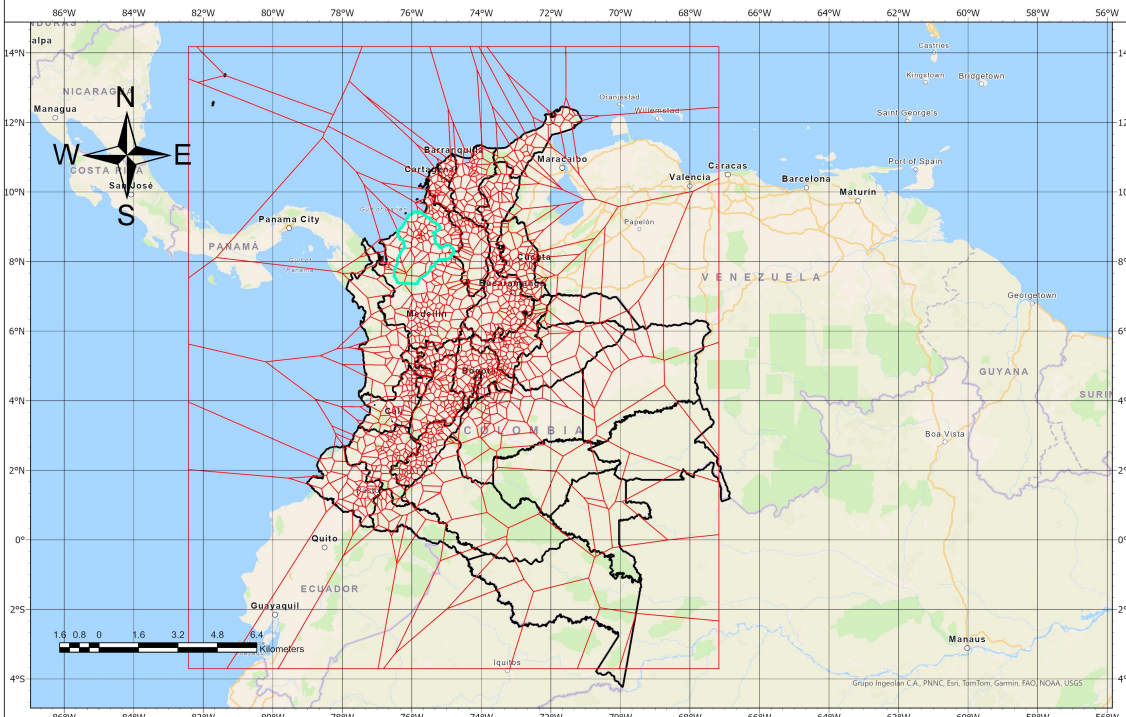
13. BIBLIOGRAFÍA

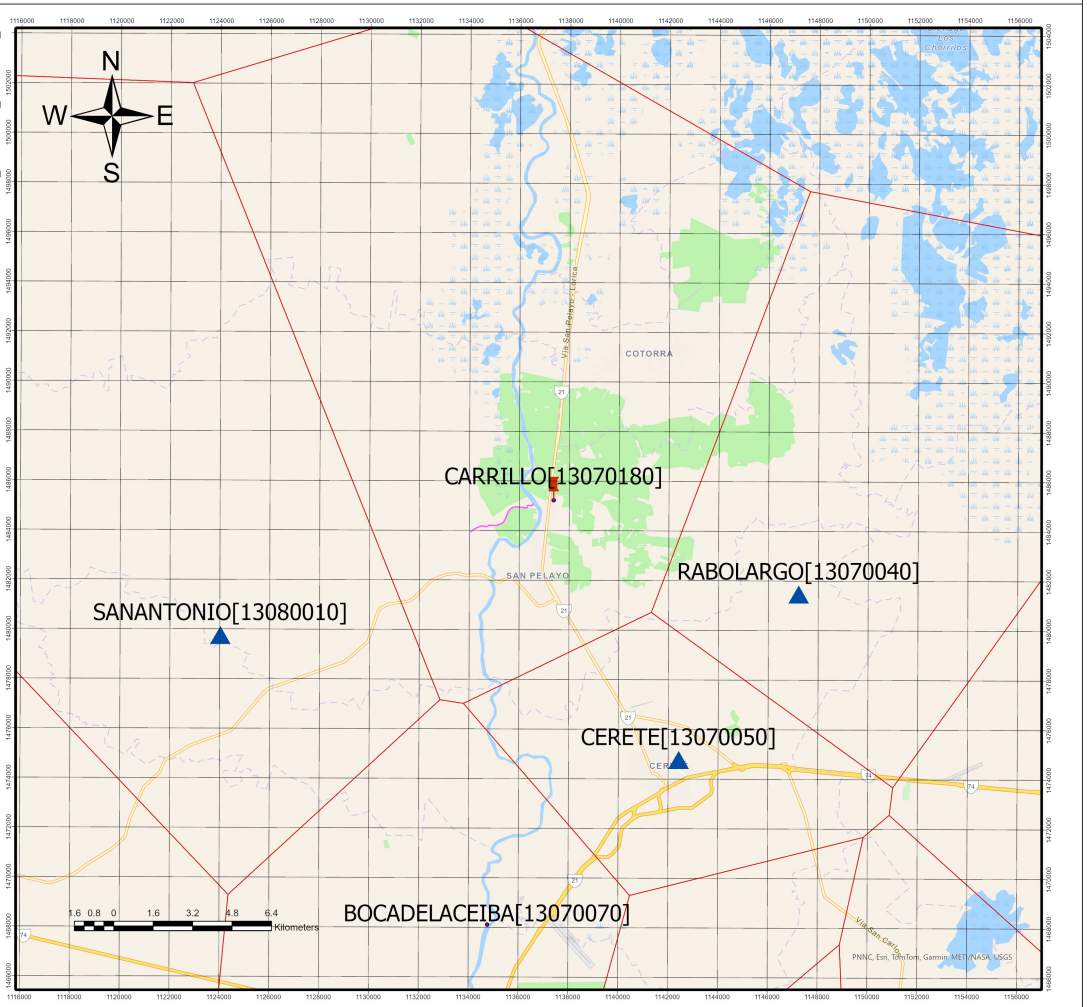
- Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Especificaciones y Normas de construcción de carreteras INV-2007. Bogotá D.C., Colombia.
- Rodrigo A. Lemos R., Drenaje Vial Superficial y Subterráneo, 1ª Edición, Popayán, Departamento de Hidráulica - Universidad del Cauca, 1999.
- German Eduardo Gavilán León, Manual de Diseño de Drenajes Superficiales y Subsuperficiales en Vías, 1ª Edición, Bucaramanga, Escuela de Ingeniería - Universidad Industrial de Santander, 2001.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Villalba-Barrios, A. F., Coronado-Hernández, O. E., Fuertes-Miquel, V. S., Coronado-Hernández, J. R., & Ramos, H. M. (2023). Statistical Approach for Computing Base Flow Rates in Gaged Rivers and Hydropower Effect Analysis. Hydrology, 10(7), 137.
- Villalba-Barrios, A. F., Coronado Hernández, O. E., Fuertes-Miquel, V. S., Arrieta-Pastrana, A., & Ramos, H. M. (2024). Assessing Extreme Drought Events and Their Temporal Impact: Before and after the Operation of a Hydropower Plant. Applied Sciences, 14(5), 1692.
- Villalba Barrios, A. F. (2024). Análisis de caudales base y de sequías del río Sinú considerando el efecto de la central hidroeléctrica URRÁ I.
- Villalba-Barrios, A. F., Coronado-Hernández, O. E., & Pérez-Sánchez, M. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN EN CUATRO PAÍSES DISTANTES Y SU INCIDENCIA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA.
- Villalba-Barrios, A. F. Jairo R. Coronado-Hernández 3 and Helena M. Ramos 4 1 Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena 131001, Colombia; villalbaa@ utb. edu. co 2 Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, Spain.

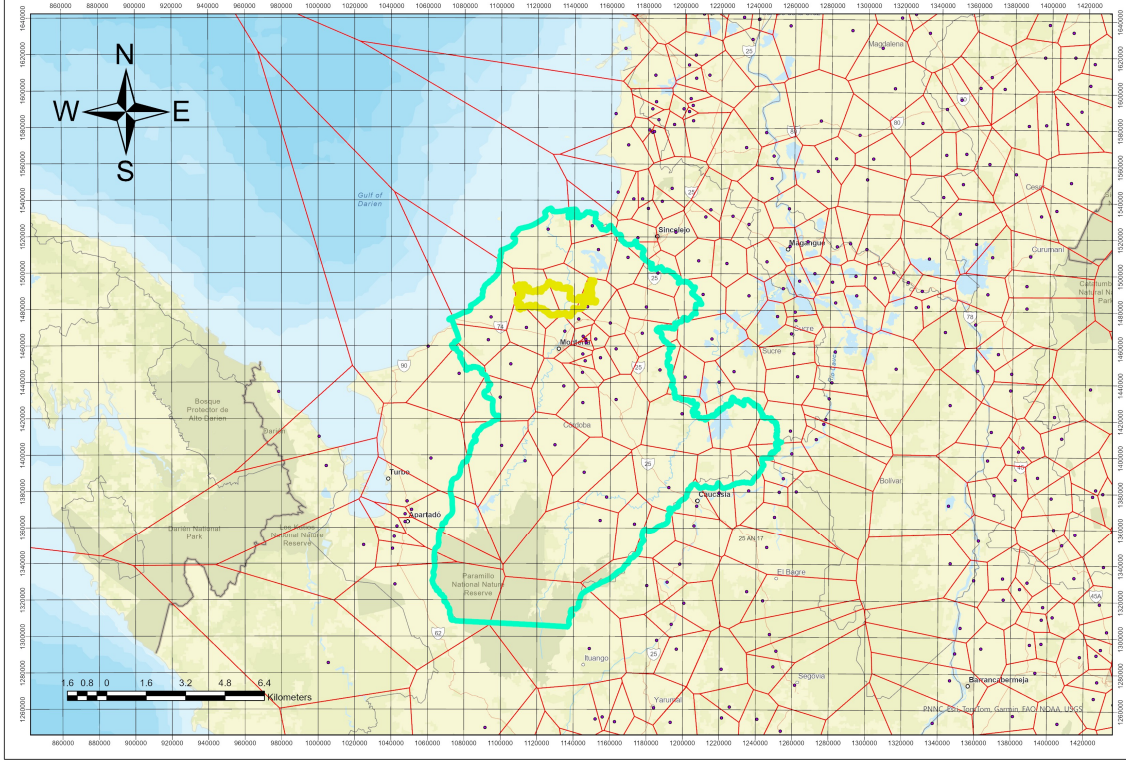
14. ANEXO

MAPAS

MAPA DE POLÍGONOS DE THIESSEN DEL PROYECTO







Leyenda

- Estaciones pluviometric
- Poligonos de Thiessen
- CARRILLO[1
- CERETE[130
- RABOLARGO
- SANANTONI
- CORDOBA

ELABORÓ:

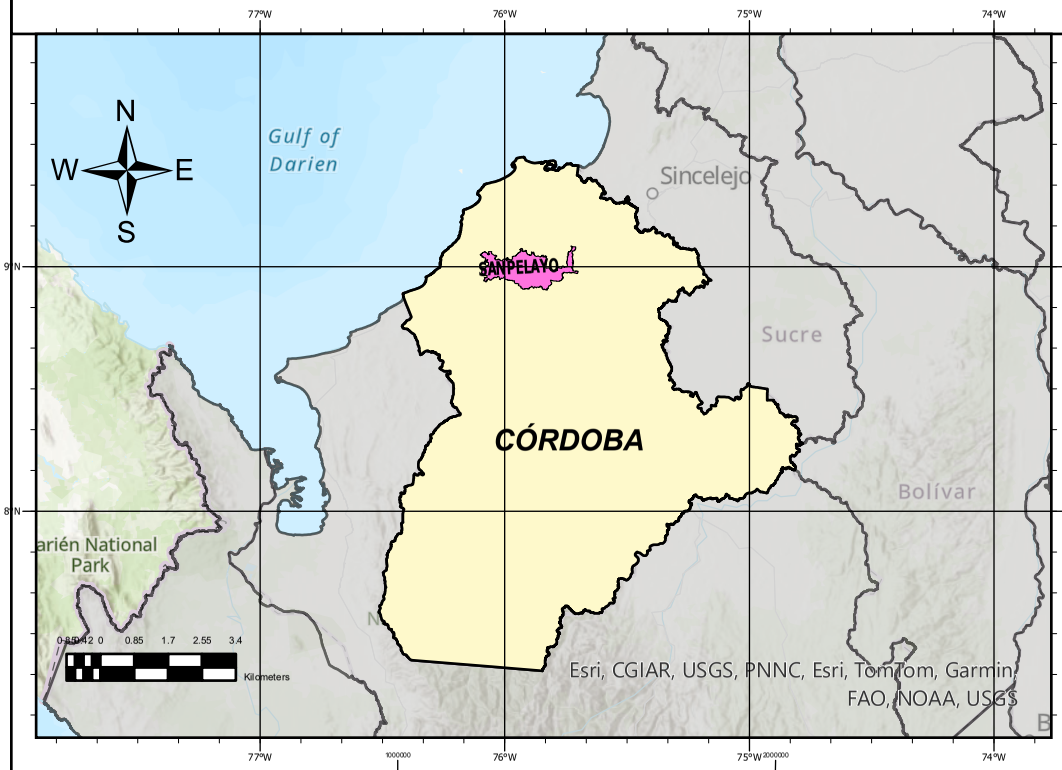
ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS

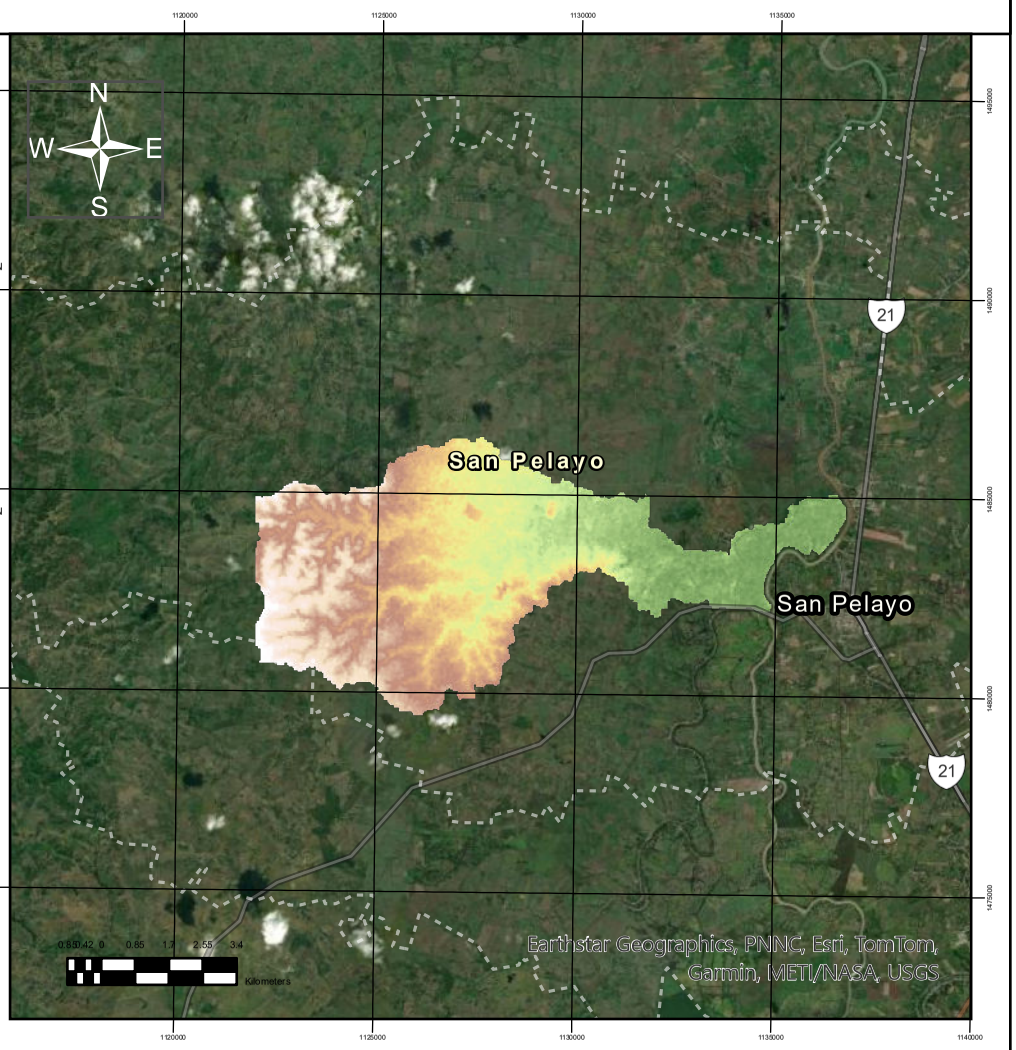
PROYECTO:

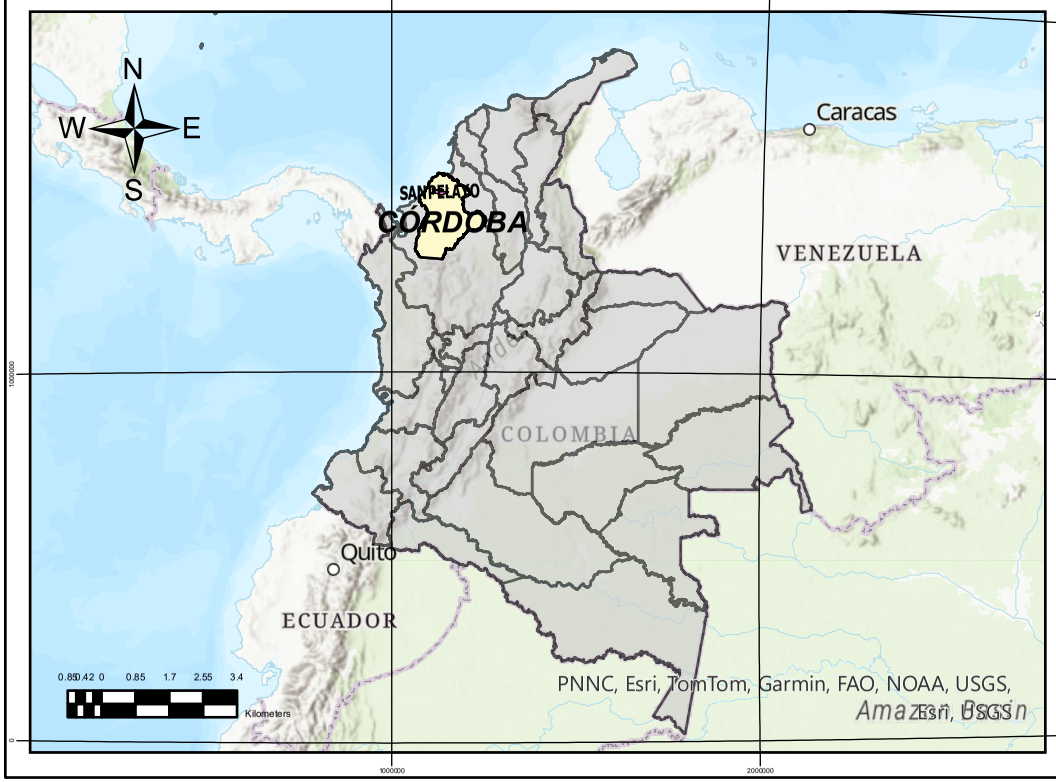
RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y DE LA CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA DE UN TRAMO DEL CAÑO EL BIEN COMÚN EN EL MUNICIPIO DE SAN PELAYO, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

AFV
ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS

MAPA DE LOCALIZACIÓN DE CUENCA







LEYENDA

- SAN PELAYO
- CÓRDOBA
- COLOMBIA

DEM

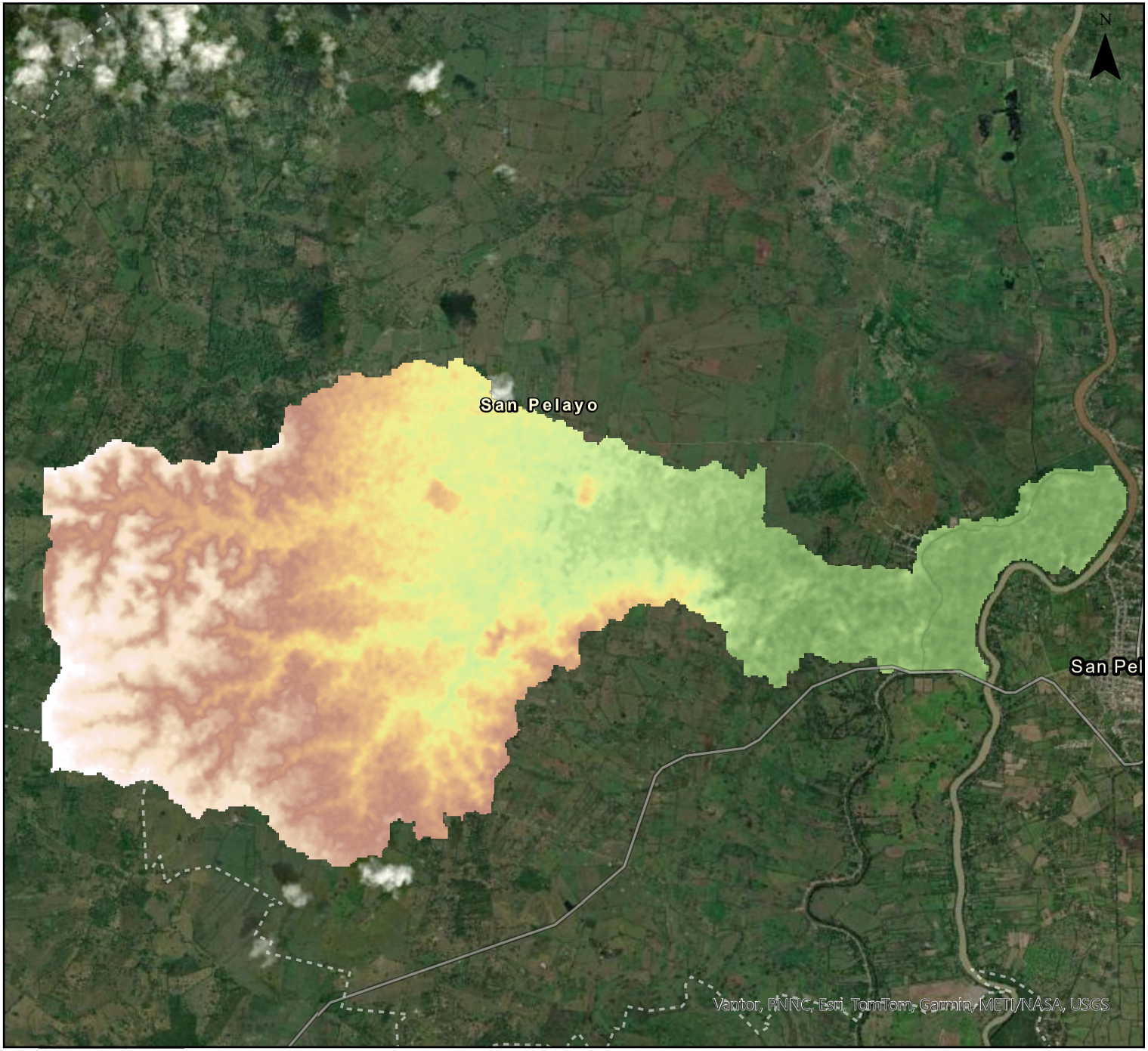
87

-4

PROYECTO:

RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y DE LA CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA DE UN TRAMO DEL CAÑO EL BIEN COMÚN EN EL MUNICIPIO DE SAN PELAYO, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

DEM DE LA CUENCA DEL PROYECTO



Scale: 1:78,125

Spatial Reference
Name: CTM12 ORIGEN NACIONAL
Projection: Transverse Mercator
Central Meridian: -73.0000
False Easting: 5,000,000.0000
False Northing: 2,000,000.0000

LEYENDA

DEM

87

-4

ELABORÓ:

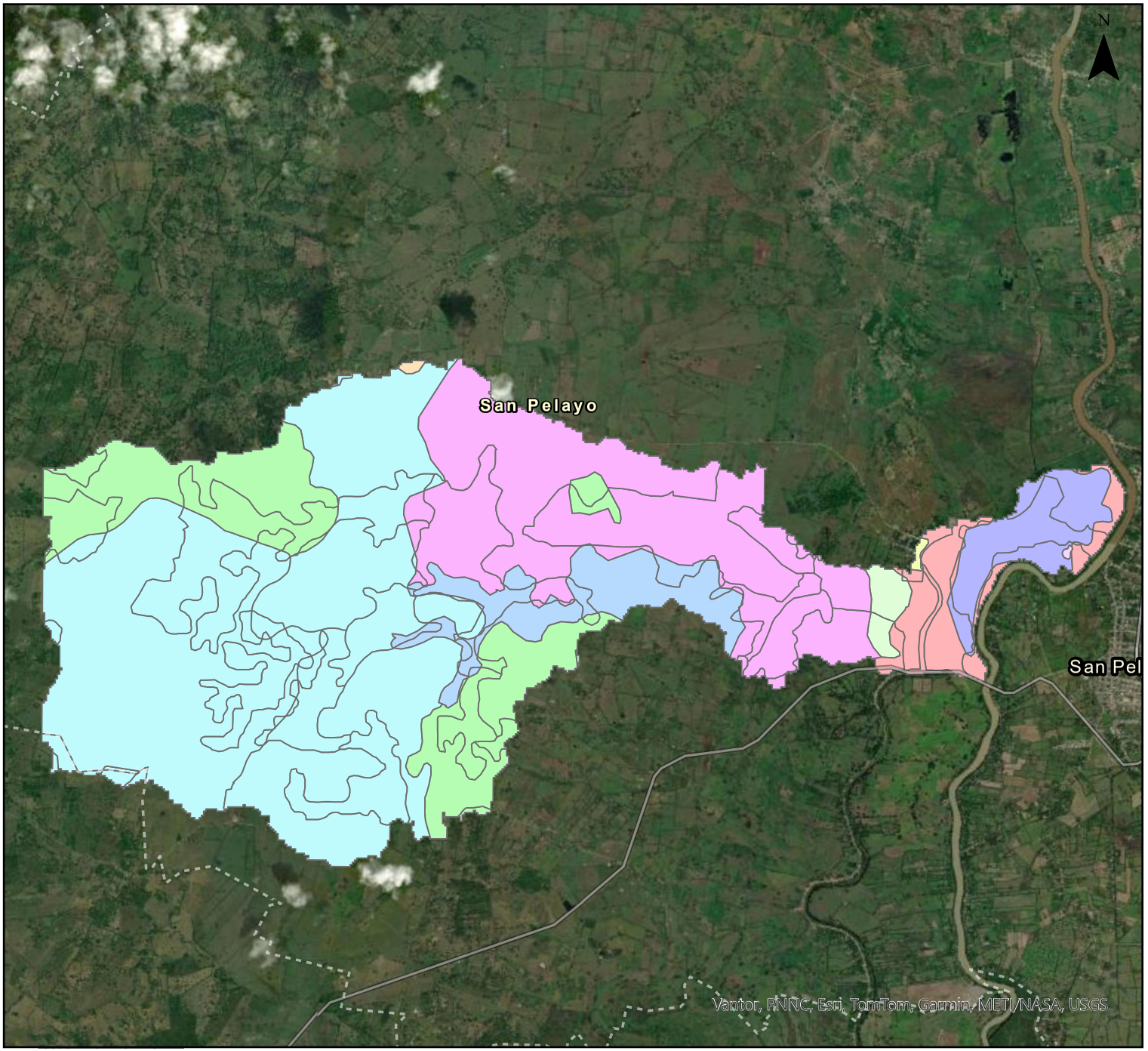
ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS

AFV

ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS

CONSULTOR HIDRÁULICO

SUELOS DE LA CUENCA DEL PROYECTO



Scale: 1:78,125

Spatial Reference
Name: CTM12 ORIGEN NACIONAL
Projection: Transverse Mercator
Central Meridian: -73.0000
False Easting: 5,000,000.0000
False Northing: 2,000,000.0000

LEYENDA

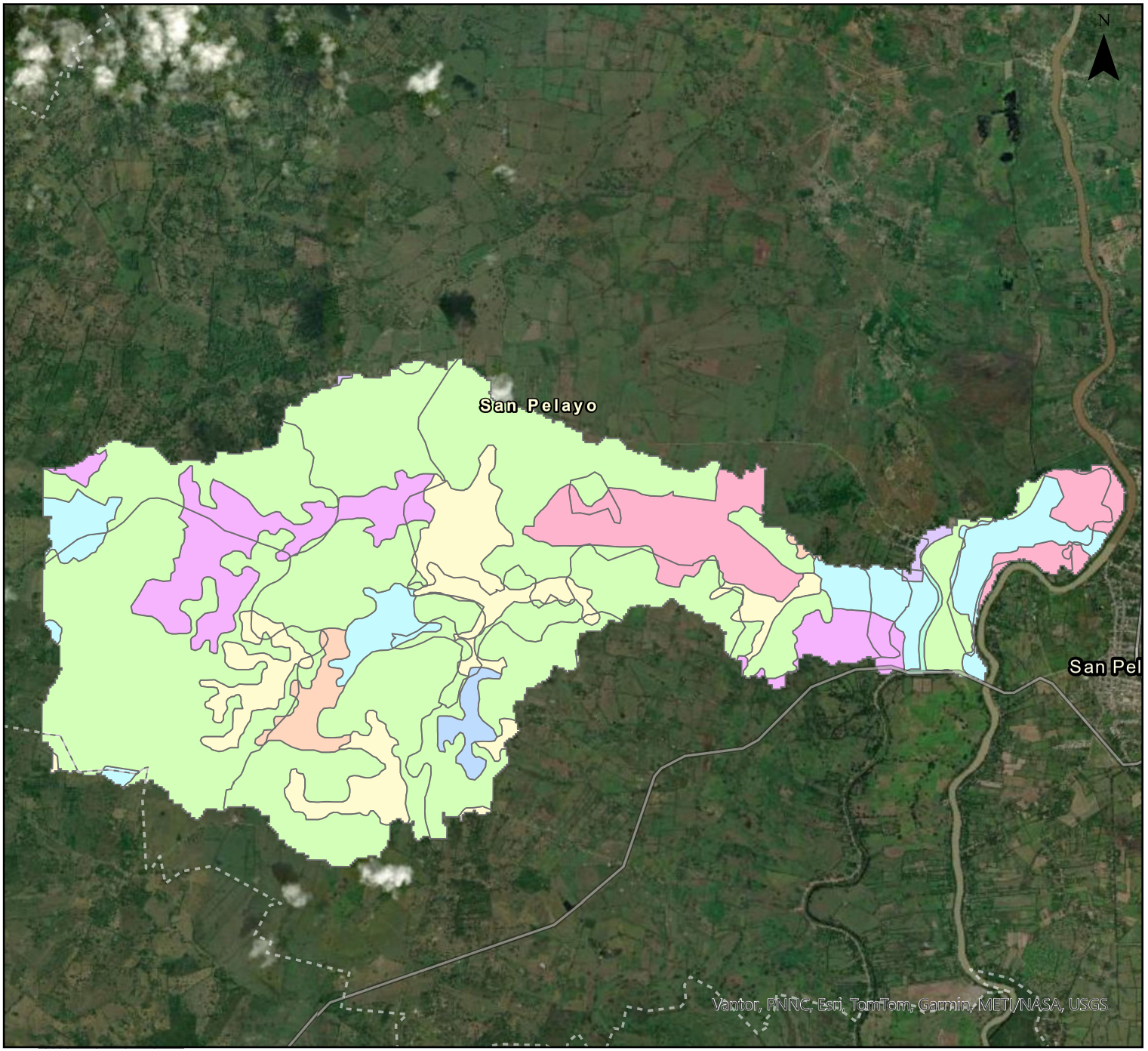
- CA
- LWB
- LWG
- PWA
- RWG
- RWH
- RWI
- RWK
- RWL
- ZU

ELABORÓ:

ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS

AFV
ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS
CONSULTOR HIDRÁULICO

COBERTURAS DE LA CUENCA DEL PROYECTO



Scale: 1:78,125

Spatial Reference
Name: CTM12 ORIGEN NACIONAL
Projection: Transverse Mercator
Central Meridian: -73.0000
False Easting: 5,000,000.0000
False Northing: 2,000,000.0000

LEYENDA

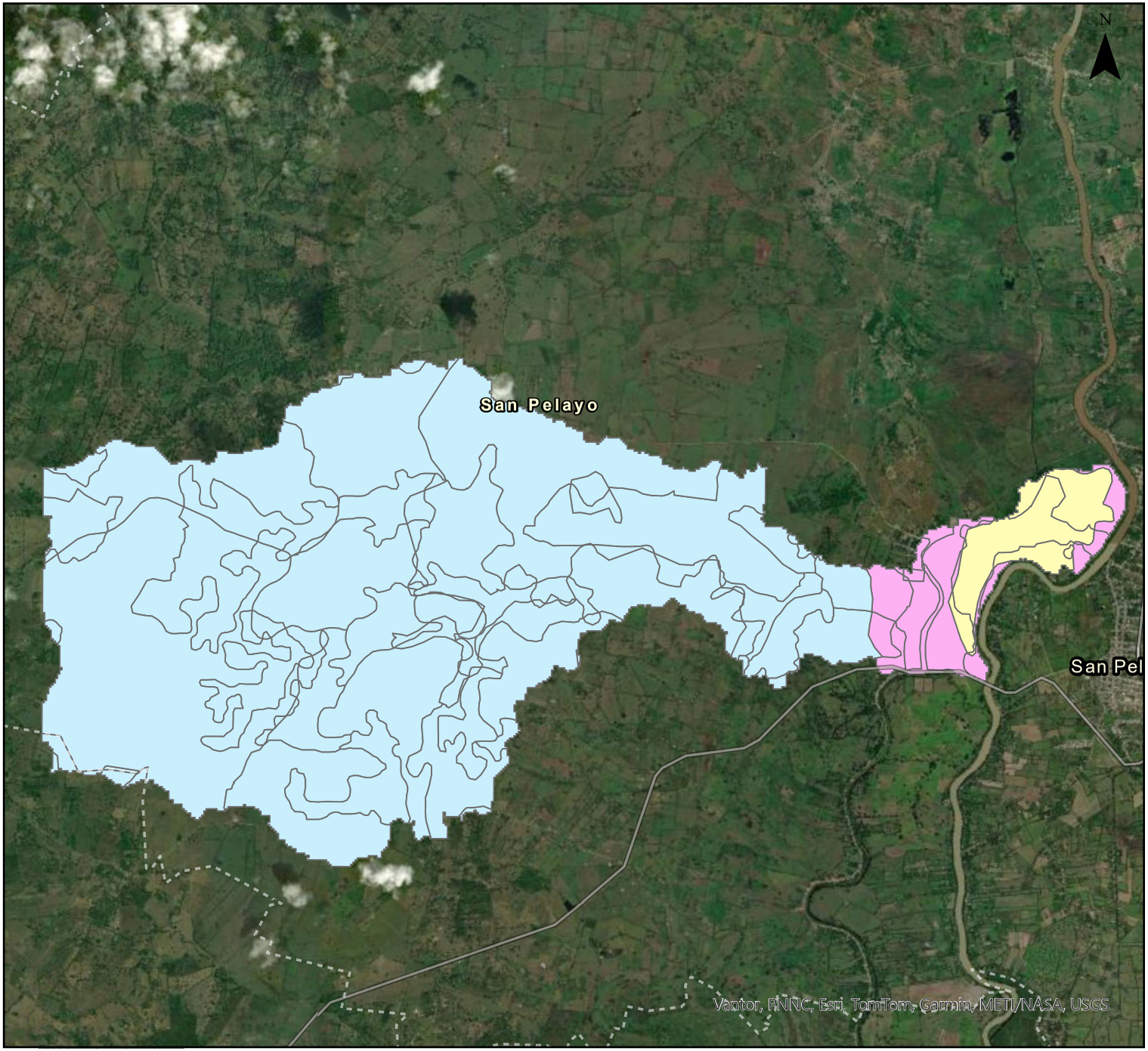
- 1.1.2. Tejido urbano discontinuo
- 2.3.1. Pastos limpios
- 2.3.2. Pastos arbolados
- 2.3.3. Pastos enmalezados
- 2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
- 2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
- 2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
- 3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
- 5.1.1. Ríos

ELABORÓ:

ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS

AFV
ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS
CONSULTOR HIDRÁULICO

GRUPO HIDRÁULICO DE LA CUENCA DEL PROYECTO



Scale: 1:78,125

Spatial Reference
Name: CTM12 ORIGEN NACIONAL
Projection: Transverse Mercator
Central Meridian: -73.0000
False Easting: 5,000,000.0000
False Northing: 2,000,000.0000

LEYENDA

- B
- C
- D

ELABORÓ:

ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS

AFV
ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS
CONSULTOR HIDRÁULICO



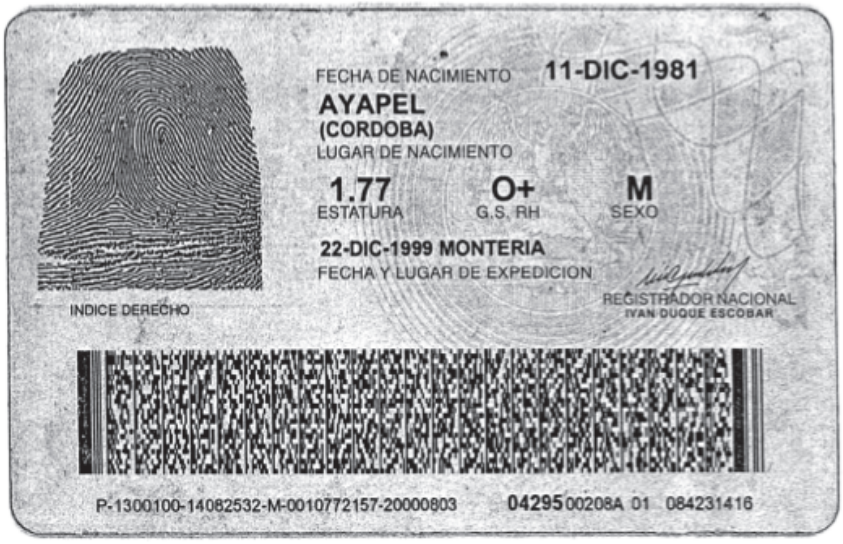
REPUBLICA DE COLOMBIA
IDENTIFICACION PERSONAL
CEDULA DE CIUDADANIA

NUMERO 10772157

VILLALBA BARRIOS
APELLIDOS

ANDRES FABIAN
NOMBRES

Andrés f. Villalba B.
FIRMA



INDICE DERECHO

FECHA DE NACIMIENTO 11-DIC-1981

AYAPEL
(CORDOBA)
LUGAR DE NACIMIENTO

1.77 ESTATURA | O+ G.S. RH | M SEXO

22-DIC-1999 MONTERIA
FECHA Y LUGAR DE EXPEDICION

REGISTRADOR NACIONAL
IVAN DUQUE ESCOBAR

P-1300100-14082532-M-0010772157-20000803 04295 00208A 01 084231416

REPUBLICA DE COLOMBIA

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERIA

COPNIA



MATRICULA PROFESIONAL No.

2220210999 6CCR

INGENIERO CIVIL

DE FECHA 19/08/2004

ANDRES FABIAN
VILLALBA BARRIOS
C.C. 10772157
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
BOLIVARIANA SECC MONTERIA

PRESIDENTE DEL CONSEJO

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2026-4615968

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que ANDRES FABIAN VILLALBA BARRIOS, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 10772157, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 22202-109996 desde el 19 de Agosto de 2004, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 320.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veintidos (22) días del mes de Julio del año dos mil veintiseis (2026).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

Universidad Pontificia Bolivariana
SECCIONAL MONTERIA

Aprobada según Resolución Ministerial No. 4800 de 1.995 del Ministerio de Educación Nacional

ACTA DE GRADO

LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL MONTERÍA, en su Unidad Académica:

ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

Confiere el Título de:

INGENIERO CIVIL A:

ANDRÉS FABIAN VILLALBA BARRIOS

Identificado con cédula de ciudadanía número 10.772.157 de Montería, en cuanto cursó y aprobó la totalidad de las asignaturas correspondientes al pénsum de INGENIERÍA CIVIL, según Registro ICFES No. 17274624000230011100, y realizó el trabajo de grado con el título "DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DE LA ZONA DE EXPANSIÓN URBANA NORTE DEL MUNICIPIO DE MONTERÍA" el cual fue aprobado.

Prestó el juramento de rigor en los siguientes términos:

"¿JURÁN A DIOS Y PROMETEN A LA PATRIA, SOSTENER LA INDEPENDENCIA, EL ORDEN, Y LAS LIBERTADES SUYAS, DEFENDER SIEMPRE LOS FUEROS DE LA JUSTICIA, PRACTICAR LA PROFESIÓN DE ACUERDO CON LAS NORMAS DE LA MORAL CRISTIANA, Y TRABAJAR POR LA PAZ DE COLOMBIA, EL ADELANTO Y PROGRESO DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA?"

Él (la) graduando (a) respondió: "SI JURO".

" Si así lo hicieres, Dios y la Patria os lo Premien, si no, El y Ella os lo demanden".

La ceremonia de grado se llevó a cabo el día veintinueve (29) de julio del año dos mil cuatro (2004).

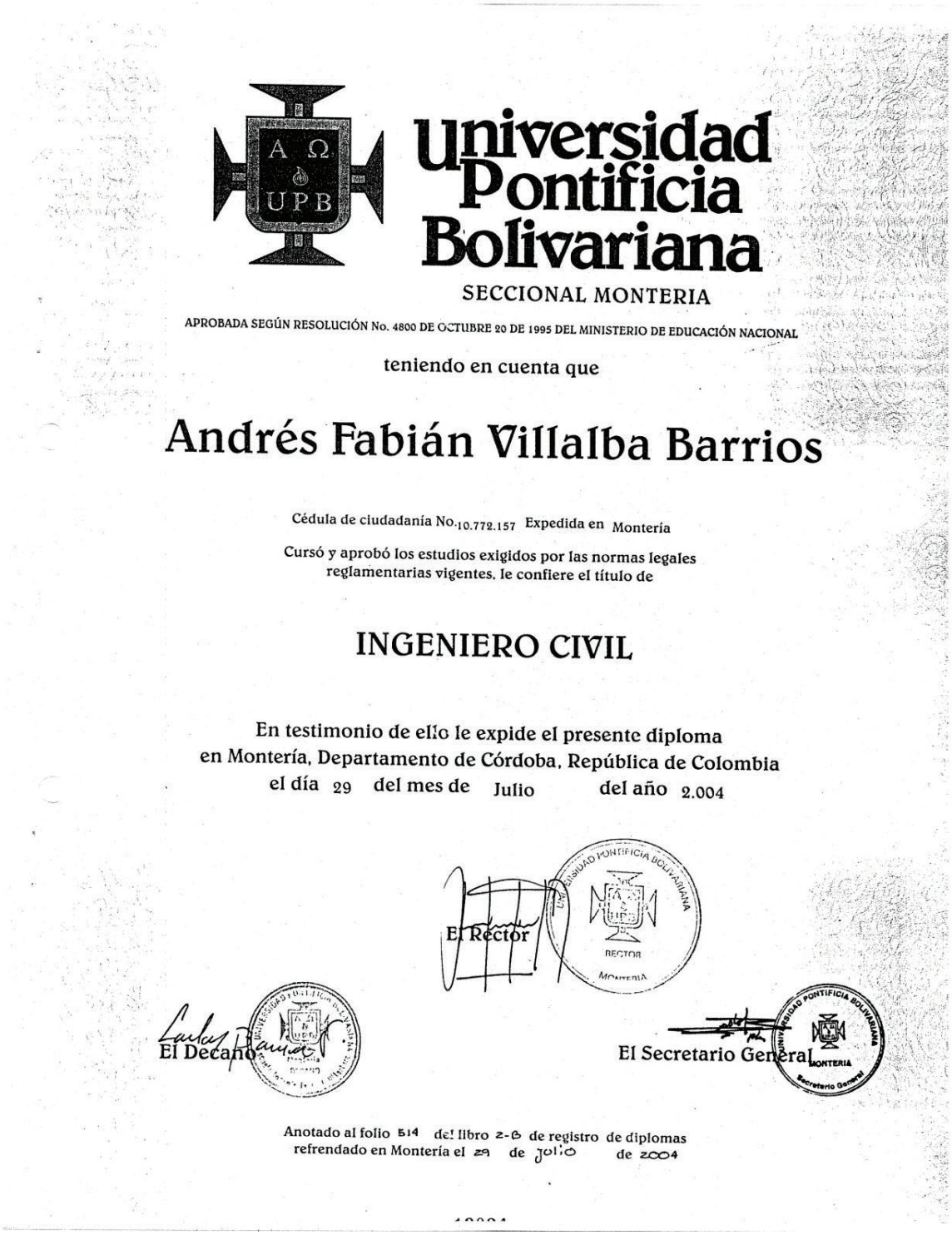
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
RECTOR
MONTERIA

Secretario General

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
MONTERIA
Secretaria General

Decano

A 1141



universidad Pontificia Bolivariana

SECCIONAL MONTERIA

APROBADA SEGÚN RESOLUCIÓN No. 4800 DE OCTUBRE 20 DE 1995 DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL

teniendo en cuenta que

Andrés Fabián Villalba Barrios

Cédula de ciudadanía No. 10.772.157 Expedida en Montería

Cursó y aprobó los estudios exigidos por las normas legales reglamentarias vigentes, le confiere el título de

INGENIERO CIVIL

En testimonio de ello le expide el presente diploma en Montería, Departamento de Córdoba, República de Colombia el día 29 del mes de Julio del año 2.004

El Rector

El Decano

El Secretario General

Anotado al folio 514 del libro 2-B de registro de diplomas refrendado en Montería el 29 de julio de 2004

Universidad Pontificia Bolivariana

MONTERÍA

Aprobada según Resolución 4800 del 20 de octubre de 1995 del Ministerio de Educación Nacional

ACTA DE GRADO

Del 15 de Diciembre de 2011

En la ciudad de Montería, la Universidad Pontificia Bolivariana Montería con Personería Jurídica reconocida mediante Resolución No.4800 del 20 de octubre de 1995, expedida por el Ministerio de Educación Nacional en Ceremonia de Grado y previo el solemne juramento de rigor, confirió el titulo de:

ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PROYECTOS

A

ANDRÉS FABIÁN VILLALBA BARRIOS

C.C. 10.772.157 de Montería

En cuanto cursó y aprobó la totalidad de las asignaturas correspondientes al plan de estudios de:

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS

Registro MEN-SNIES No. 9341

y quien realizó y aprobó como requisito final el trabajo de Grado con el título:
"INTEGRACIÓN METODOLÓGICA PARA LA PROGRAMACIÓN DE OBRAS Y CONTROL DE COSTOS EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURAS Y URBANISMO EN LA CIUDAD DE MONTERÍA.."

El Rector Seccional (E): Pbro. JORGE ALONSO BEDOYA VÁSQUEZ

El Secretario General: A.E. LUZ ESTELA FUENTES SANTOS

El Decano de la Escuela: A.E. JOHN ARTURO BUELVAS PARRA

*Diploma No. **16310** Registrado en el folio **609** del libro **5-B** de registro de diplomas.*

Secretaria General

A4478

THOMAS GREG & SONS.

Universidad Pontificia Bolivariana

MONTERÍA

APROBADA SEGÚN RESOLUCIÓN No. 4800 DEL 20 DE OCTUBRE DE 1995 DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL

Teniendo en cuenta que

Andrés Fabián Villalba Barrios

Cédula de ciudadanía No. 10.772.157 expedida en Montería

Cursó y aprobó los estudios exigidos por las normas legales reglamentarias vigentes, le confiere el título de

Especialista en Gerencia de Proyectos

En testimonio de ello le expide el presente diploma en Montería, Departamento de Córdoba, República de Colombia el día 15 del mes de Diciembre del año 2011

El Rector

El Decano

El Secretario General

Anotado en el folio 609 del libro 5-B de registro de diplomas
Refrendado en Montería el 15 de Diciembre de 2011

16310

Universidad Tecnológica de Bolívar

EN NOMBRE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA POR AUTORIZACIÓN
DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL

LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

CONFIERE EL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA

A

ANDRES FABIAN VILLALBA BARRIOS

C.C. NO. 10.772.157

Por haber cumplido con todos los requisitos académicos exigidos por la Universidad y en constancia se expide el presente Diploma en Cartagena de Indias D. T. y C.

DADO A LOS 10 DÍAS DEL MES DE MAYO DE 2024

INSCRITO EN EL LIBRO DE REGISTRO DE DIPLOMA NO. 34 BAJO EL NO. 9532

DECANO(A)

RECTOR (A)

SECRETARIO(A) GENERAL

VIGILADO MINEDUCACIÓN

Universidad Tecnológica de Bolívar

ACTA DE GRADO NO. 9424

La suscrita Secretaria General, hace constar que en la ciudad de Cartagena de Indias D. T. y C., Departamento de Bolívar, a los 10 días del mes de mayo de 2024, se llevó a cabo el acto de graduación, en el cual la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, reconocida con Personería Jurídica por la Gobernación de Bolívar mediante la Resolución N° 961 de octubre de 26 de 1970, y con el Carácter Académico de Universidad mediante la Resolución N° 2996 del 28 de noviembre de 2003 por el Ministerio de Educación Nacional, previo juramento reglamentario, confirió el título de:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA
CON ÉNFASIS EN INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

a

ANDRES FABIAN VILLALBA BARRIOS

Identificado (a) con C.C. N° 10772157, quien cumplió con todos los requisitos académicos, las exigencias establecidas en los reglamentos y normas legales, como consta en el Acta de Ceremonia de Grados N° 003 de mayo 2024, otorgando el Diploma N° 9532 del Libro N° 34, que lo acredita como tal.

Se expide la presente constancia, en Cartagena de Indias D. T. y C., a los 10 días del mes de mayo de 2024.

ANA MARÍA HORRILLO C.
SECRETARIA GENERAL

VIGILADO MINEDUCACIÓN

REPÚBLICA DE COLOMBIA

NO. 1166

CORPORACIÓN

UNIVERSIDAD DEL SINÚ

Elías Bechara Zainúm

EL RECTOR Y EL CONSEJO SUPERIOR
POR EL TENOR DE LA PRESENTE, HACEMOS SABER QUE

Andres Fabian Villalba Barrios

IDENTIFICADO(A) CON LA CÉDULA DE CIUDADANÍA NO. 10.772.157 de Montería , ALUMNO(A) DE ESTA INSTITUCIÓN Y EN TAL VIRTUD FORMADO(A) EN EL PENSAMIENTO DE NUESTRO FUNDADOR, CON PROYECCIÓN UNIVERSAL, VALORES CULTURALES Y HUMANOS DEL HOMBRE COLOMBIANO CONFERIMOS, EN NOMBRE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA Y POR AUTORIZACIÓN DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL, EL CARÁCTER Y TÍTULO DE

Especialista en Mecánica de Suelos y Cimentaciones

CON EL COMPROMISO DE LIDERAZGO AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD, LA UNIVERSIDAD Y SU FAMILIA PARA GENERAR FUTURAS CONDICIONES DE VIDA MÁS FAVORABLES A TODOS, COMPROMETIDO CON NUESTRA RAZÓN DE SER, ELEVANDO LA CULTURA REGIONAL Y NACIONAL, COMO CONTRIBUCIÓN A LA HUMANIDAD, CON EL CRITERIO DE LA LIBERTAD COMO DERECHO NATURAL Y SIN DISTINGO DE RAZA, CREDO, SEXO O COLOR. EL PRESENTE TÍTULO LLEVA LAS FIRMAS DEL RECTOR, DECANO Y SECRETARIO GENERAL, EN LA CIUDAD DE Montería
A LOS 31 DÍAS DEL MES DE Julio DEL AÑO 2025

EL RECTOR

EL DECANO

Libro 10 Folio 179

EL SECRETARIO GENERAL

Scanned with CamScanner