[JABM]+ingenieria
ING. JAIRO ALEXANDER BARRAGÁN MENDOZA

CONSTRUCCIÒN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE EROSIÓN LATERAL Y SOCAVACIÓN BASAL EN TALUDES DE LA MARGEN DERECHA DEL RÍO BANADÍAS – SECTOR CRÍTICO BARRANCONES EN EL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y SOCAVACIÓN

SARAVENA, ARAUCA.
JUNIO DE 2026

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

[JABM]+ingenieria
ING. JAIRO ALEXANDER BARRAGÁN MENDOZA

DATOS DEL DOCUMENTO

Título del documento	CONSTRUCCIÒN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE EROSIÓN LATERAL Y SOCAVACIÓN BASAL EN TALUDES DE LA MARGEN DERECHA DEL RÍO BANADÍAS – SECTOR CRÍTICO BARRANCONES EN EL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA
Código del documento	ESTUDIO DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y SOCAVACIÓN
Revisión No.	1

Este Documento ha sido revisado y aprobado como se indica abajo. Las modificaciones realizadas se describen a continuación en el índice de modificaciones. Por favor destruir todas las revisiones previas.

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Revisión No.	Fecha	Sección modificada	Observaciones
1			

ELABORACIÓN

Elaboró	Nombre	JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA
	Matrícula Profesional	25202-143899 CND
	Nombre	
	Matrícula Profesional	

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 8
2. ASPECTOS GENERALES 9
2.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 9
2.2. OBJETIVO 11
2.2.1. Objetivos específicos 11
2.3. ALCANCE 12
2.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 12
2.5. JUSTIFICACIÓN 12
2.6. ANTECEDENTES 12
3. METODOLOGÍA 14
3.1. METODOLOGÍA ESTUDIOS HIDROLÓGICOS 14
3.1.1. Recopilación y análisis de información existente 14
3.1.2. Delimitación de áreas de drenaje 14
3.1.3. Análisis de caudales 15
3.1.4. Presentación de planos y Normatividad 15
4. ESTUDIO HIDROLÓGICO 16
4.1. CLIMATOLOGÍA 16
4.1.1. Humedad Relativa 16
4.1.2. Temperatura 17
4.2. ANÁLISIS REGIONAL DE LLUVIAS 18
4.2.1. Longitud de registro de análisis 19
4.2.2. Análisis de Confiabilidad de la Información 19
4.2.3. Distribución espacial de la precipitación 20
4.2.4. Régimen de lluvias 21
4.2.5. Relaciones de Intensidad – Duración – Frecuencia - IDF 24
Curvas IDF – ARAUQUITA **26**

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

4.3. ESTIMACIÓN DE LA LLUVIA MEDIA EN LA CUENCA 30
4.4. PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO 31
4.5. ANÁLISIS DE CAUDALES 31
4.5.1. Parámetros y justificación de fórmulas empleadas 32
Pendiente media del cauce (S) **32**
Tiempo de Concentración **32**
Método del SCS **33**
Condición de Humedad Antecedente **38**
Factor de Reducción de la Lluvia **40**
4.5.2. Aplicación de las teorías y métodos de predicción 45
Hietogramas de los Aguaceros Puntuales **45**
Hietogramas de los Aguaceros Espaciales **45**
Cálculo de caudales para las cuencas mayores **46**
Caudales estimados para cuencas mayores 47
5. ESTUDIO HIDRÁULICO 51
5.1. Geomorfología Regional 51
5.1.1. Geoformas de origen fluvial. 51
5.1.2. Geoformas de origen estructural 52
5.1.3. Geoformas de origen glacial 53
5.2. Análisis Multitemporal del Sector 53
5.3. Dinámica fluvial 54
5.4. Modelo HEC RAS 55
5.5. Rugosidad del Cauce 56
5.6. MODELACIÓN HIDRÁULICA CONDICIONES ACTUALES 59

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

5.7. OBRAS HIDRÁULICAS PROPUESTAS PARA MITIGAR EL RIESGO DE INUNDACIÓN 65

5.7.1. MUROS RÍGIDOS 65

5.7.2. MUROS MASIVOS FLEXIBLES 66

5.7.3. MUROS DE TIERRA REFORZADA GEOBOLSAS 67

5.7.4. PANELES SUMERGIDOS 67

5.7.5. ESPOLONES 68

5.7.6. MATRIZ DE EVALUACION ALTERNATIVAS 68

5.8. OBRAS HIDRÁULICAS SELECCIONADAS 69

5.8.1. PROTECCIÓN DEL TALUD CON ENRROCADO y GEOBOLSAS 75

6. OBRAS DE PROTECCIÓN TALUD - Mantos Permanentes de Control de Erosión (TRM) 77

7. ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN 78

7.1. Socavación general 78

7.2. Método de Maza Cruickshank 80

8. CONCLUCIONES Y RECOMENDACIONES 81

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Localización del tramo en estudio 10
Tabla 4-1 Lista de estaciones de humedad relativa analizadas 16
Tabla 4-2 Lista de estaciones de temperatura máxima y mínima analizadas 17
Tabla 4-3 Lista de estaciones de precipitación analizadas 18
Tabla 4-4 Series de registros de precipitación 19
Tabla 4-5 Listado se series anuales descartadas 20
Tabla 4-6 Coeficientes de regresión de acuerdo con la región colombiana 25
Tabla 4-7. Curvas IDF – Aeropuerto El Edén 26
Tabla 4-8. Curvas IDF – Estación MORICHAL 27
Tabla 4-9. Curvas IDF – Estación TAME 28
Tabla 4-10. Curvas IDF – Estación TUNEBIA 29
Tabla 4-11. Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial 31
Tabla 4-12. Numero de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas sin tratamiento 37
Tabla 4-13. Numero de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas con tratamiento 37
Tabla 4-14. Cobertura vegetal de la zona de proyecto 38
Tabla 4-15. Niveles de condiciones de humedad antecedente 38
Tabla 4-16. Numero de curva CN – Río Banadia 39
Tabla 4-17. Características morfométricas de la cuenca del Río Banadía 41
Tabla 4-18. Factores de reducción de lluvia 41
Tabla 4-19. Caudales estimados cuencas mayores 48
Tabla 4-20. Caudales cuenca Banadias sector Barrancones 49
Tabla 5-1. Valores de rugosidad - Método de Cowan 57
Tabla 5-2. Rugosidad de Manning de corrientes en estudio 58
Tabla 5-3. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muros rígidos 65
Tabla 5-4. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muros flexibles 66
Tabla 5-5. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muros de tierra reforzada 67
Tabla 5-6. Matriz de selección alternativas 69
Tabla 7.1 Distribución granulométrica promedio de la zona de evaluación 79

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización meandro de estudio con respecto a la Troncal Villagarzon - Saravena 8
Ilustración 2. Localización general, municipio de Saravena 10
Ilustración 3. Localización especifica de la zona de estudio 11
Ilustración 5.1 Geomorfología de la cuenca del río Banadia 51
Ilustración 5.2 Dinámica del curso del río Banadia (2016-2024) 54
Ilustración 5.3. Clasificación de Tipos de Cauces 54

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han presentado procesos de erosión e inundación en las zonas aledañas del río Banadias en su paso por la vereda Barrancones por la laterización rio. Esto ha expuesto a la población a condiciones de riesgo que repercuten en su desarrollo económico y en su cotidianidad. En consecuencia, se ha identificado la necesidad de la construcción de elementos de protección (Enrrocado - Geobolsas) en la margen derecha del río, con el fin de evitar la erosión los taludes que pudiesen comprometen la ruta 6515 (Troncal Villagrazon - Sarvena) .

En el presente informe se presenta el estudio de hidrología e hidraulica a tener en cuenta para el entendimiento de la problemática y las recomendaciones de mitigación adecuadas.

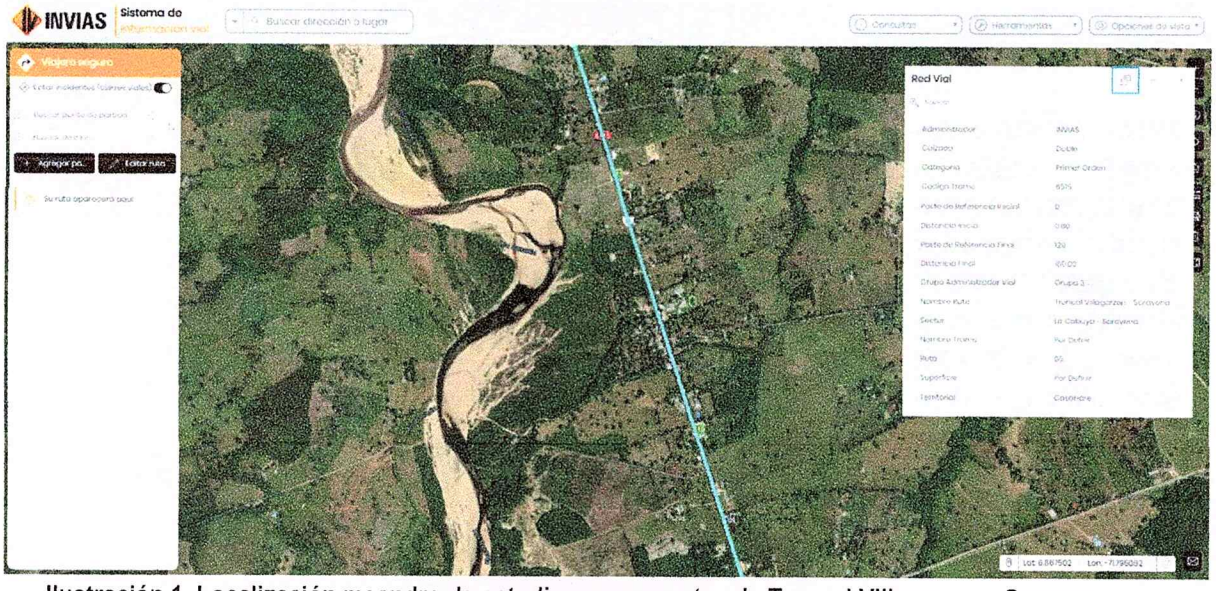


Ilustración 1. Localización meandro de estudio con respecto a la Troncal Villagarzon - Saravena

Fuente: INVIAS

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

2. ASPECTOS GENERALES

2.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Municipio de Saravena está ubicado en la Orinoquia colombiana, noroccidente del departamento de Arauca. Sus coordenadas geográficas son: Latitud norte entre 6°46′ y 7°00′ y Longitud 71°41′ y 72°06′. Está limitado por el norte con la República de Venezuela desde la desembocadura del río Bojabá en el río Arauca, hasta la inspección de Puerto Lleras; por el sur con el municipio de Fortul; por el este con el municipio de Arauquita y Fortul y por el oeste con el Departamento de Boyacá, sobre la cuenca del río Bojabá.

Código Dane: 81736
Coordenadas: 06°53'"N 71°54'"O
Extensión: 907 Km^2
Altitud: 223 m. s. n. m
Distancia: 196 Km a Arauca
Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 210 msnm
Temperatura media: 27 °C

La ubicación geográfica del municipio de Saravena se encuentra dentro de la Orinoquia araucana, del paisaje andino Orinocense el cual, desde el punto de vista paisajístico, puede dividirse de la siguiente manera:

- Piedemonte andino: Está localizado en la sección baja de la cordillera y conformado por un complejo relieve de materiales acumulados y estribaciones andinas donde sobresalen bajos, áreas de explayamiento, cunas, terrazas, mesetas, mesas, colinas, lomas y serranías. Esta zona estuvo cubierta de selva y está comprendida entre los 200 y 1000 metros sobre el nivel del mar.
- Vertiente cordillerana: Conformada por relieves escalonados descendientes hasta alcanzar los 1.000 metros sobre el nivel del mar. La zona cordillerana está cubierta por completo de selva de gran biodiversidad, riqueza hídrica y de suelos.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

[JABM]+ingenieria
ING. JAIRO ALEXANDER BARRAGÁN MENDOZA



Ilustración 2. Localización general, municipio de Saravena

Para efecto del presente estudio, se analizará un tramo del Río Banadia a la altura de la vereda Barrancones en el municipio de Saravena, el cual se encuentra localizado tomando como puntos de referencia su punto inicial y su punto final, georreferenciado mediante las coordenadas presentadas en la Tabla 1, con origen Magna Sirgas / Origen Este.

Tabla 1. Localización del tramo en estudio

Acción	Longitud	Coordenadas			
		Inicio		Fin	
		Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Enrocado + Geo Bolsas	210	6°51'44.78"N	71°47'56.02"O	6°51'50.79"N	71°47'56.92"O

Fuente: Elaboración propia

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Ilustración 2 localización específica del proyecto



Fuente: Google eart pro

2.2. OBJETIVO

Desarrollar los estudios hidrológicos, hidráulicos y de socavación para la estructura propuesta en el margen izquierdo del río Banadia, vereda Barrancones en el municipio de Saravena, departamento de Arauca.

2.2.1. Objetivos específicos

- Recopilar y procesar la información secundaria disponible como son las estadísticas climáticas de la región, los estudios meteorológicos y ambientales, los registros del IDEAM, la cartografía del IGAC y las fotos aéreas de interés para el corredor, entre otros.
- Realizar un análisis general del clima, la cobertura vegetal y el régimen de lluvias en condiciones medias y extremas.
- Estima el caudal de diseño para la obra de mitigación de inundación para el sector vereda Barrancones en el municipio de Saravena en el departamento de Arauca.
- Evaluar el estado y la capacidad hidráulica del cauce existente y con la implementación de la obra de mitigación de inundación para el sector vereda Barrancones en el municipio de Saravena en el departamento de Arauca.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

- Evaluar la socavación de la obra de mitigación de inundación para el sector vereda Barrancones en el municipio de Saravena en el departamento de Arauca.

2.3. ALCANCE

Partiendo de la necesidad de llevar a cabo los estudios y diseños de la obra de reducción del riesgo por inundación para el sector vereda Barrancones en el municipio de Saravena, se realiza el análisis de caudales en la cuenca río Banadia y la modelación hidráulica de tal manera que se valide la implementación de obras que permitan mitigar el riesgo por inundación.

2.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El deterioro del medio ambiente en el caso específico de la cuenca del río Banadia, está relacionado principalmente con el uso inadecuado de los suelos y la pérdida de bosques primarios y de galería, debido a la falta de conocimiento en el manejo de los suelos, la falta de capacitación y apoyo técnico a los campesinos.

En el caso particular del presente estudio se presenta erosión lateral en las zonas aledañas del río Banadia en su paso por la vereda Barrancones En los últimos años se han generado situaciones relacionadas con pérdida del talud. Esto descrito ha expuesto a la población a condiciones de riesgo que han repercutido en su desarrollo económico y en su cotidianidad.

2.5. JUSTIFICACIÓN

Las intensas lluvias de la temporada invernal actual, sumadas a las históricas de la región, han incrementado el riesgo de erosión en la ribera del río Banadia, a la altura de la vereda Barrancones, municipio de Saravena. Esta situación amenaza la seguridad y el bienestar de la población, así como sus bienes materiales y económicos.

Para mitigar estos riesgos, se propone la construcción de un conjunto de obras de protección en la margen derecha del río Banadia (Realineamiento del Cauce + Enrocado y Geobolsas). La obra evitará la erosión, protegiendo a la población de Barrancones y en particular la vía nacional.

Para el diseño y construcción de la obra de protección, se requiere un estudio geotécnico que determine las características del terreno y las condiciones del río, para lo cual se requiere la ejecución de la recopilación y análisis de la información geológica que permita reconocer la problemática del sector.

2.6. ANTECEDENTES

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

[JABM]+ingenieria
ING. JAIRO ALEXANDER BARRAGÁN MENDOZA

El municipio de Saravena ha sufrido las consecuencias de los eventos de precipitaciones máximas presentadas en los últimos años. Las pérdidas materiales que ha tenido la población ribereña se enmarcan principalmente en cultivos, ganados, enseres, bienes inmuebles y bienes colectivos, llegando a poner en riesgo de inundación por crecidas del *río Banadía a la población del municipio de Saravena.*

El evento de inundación que se presentó en el año 2018 afecto alrededor de 400 familias, es decir, un 95% de la población, presentándose niveles de agua que superaron los 20 centímetros, lo cual presenta un alto riesgo para los habitantes de la zona. Se realiza el proceso de revisión documental de la cual no se encuentra ningún registro de estudios realizados anteriormente relacionados con el objeto.

Actualmente es inminente la erosión de los taludes que están comprometen la ruta 6515 (Troncal Villagrazon - Sarvena).

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

3. METODOLOGÍA

Se presenta a continuación, la descripción detallada del procedimiento seguido para adelantar los estudios objeto del proyecto, desde la búsqueda y recopilación de la documentación e información pertinente, hasta el desarrollo de cada una de las etapas del proyecto.

3.1. METODOLOGÍA ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

Para la ejecución de los estudios se llevaron a cabo las siguientes actividades:

3.1.1. Recopilación y análisis de información existente

Se llevó a cabo la recopilación de la información y el análisis de la información existente, referente al clima, suelos, vegetación, comportamiento del Río Banadia, actividades antrópicas que afecten el medio ambiente, etc.
Las fuentes externas más utilizadas son:

- Archivos tipo Shapes correspondientes a las planchas IGAC, para la cartografía de la zona de proyecto a escala 1:25.000.
- Registros meteorológicos del IDEAM
- Archivos tipo Shapes IGAC, para la zonificación de suelos y zonificación de Tierras de los departamentos de Arauca y Boyaca.

Es de mencionar que se ha utilizado la información disponible en las plataformas web del IDEAM en la región, esto en función de realizar el análisis de la precipitación media anual, precipitación máxima mensual en 24 horas, número de días con lluvia y elevación de la estación, con lo cual se procede a analizar la distribución tanto temporal como espacial en la zona del proyecto. Así mismo, se realizaron análisis estadísticos y probabilísticos utilizando los registros IDEAM antes mencionados con el objetivo de estimar la cantidad y la intensidad de la precipitación de la zona y generar las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF), para diferentes períodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años).

Las fuentes de información cartográficas consultadas han sido las siguientes (por orden de importancia):

- Levantamiento topográfico de detalle.
- Modelos de Elevación Digital (DEM) de resolución 12.5mx12.5m
- Planchas digitales del IGAC en escala 1:25.000.
- Fotos aéreas existentes, ortofotos y Google Earth.
- Fotos aéreas existentes y ortofotos.

3.1.2. Delimitación de áreas de drenaje

La delimitación de las áreas de drenaje de las cuencas situadas en la zona de proyecto se realizado utilizando técnicas de delimitación mediante el uso de Sistemas de Información

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Geográfica (SIG), así como las curvas de nivel disponible en las planchas digitales del IGAC, topografía, cartografía, trazado geométrico y drenaje existente, lo cual es indispensable para la determinación de los puntos de concentración.

3.1.3. Análisis de caudales

La estimación de caudales del río Banadia en el tramo en estudio se estableció mediante la aplicación de los métodos recomendados por el Manual de Drenaje para Carreteras del INVÍAS. En las zonas inundables se identificaron áreas aferentes de origen antrópico, y direcciones de flujo para permitir el paso ambiental y la comunicación hidráulica sin exceder los terraplenes, durante eventos extraordinarios.

3.1.4. Presentación de planos y Normatividad

Se presentan los planos de delimitación de áreas de drenaje para cuencas grandes interceptadas por puentes y pontones teniendo como respaldo las planchas IGAC a escala 1:25.000 correspondientes. Adicionalmente se indica para la cuenca la longitud del cauce principal, el área de drenaje y la localización.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.1. CLIMATOLOGÍA

El análisis del comportamiento de las principales variables climatológicas en el sector de estudio se realiza con base a las estaciones climatológicas del IDEAM aferentes a la zona de proyecto., las cuales se presentan en los siguientes consecutivos, a excepción de la precipitación que merece un capítulo especial en el documento por su importancia para la estimación de los caudales mediante los modelos lluvia escorrentía.

4.1.1. Humedad Relativa

De acuerdo con información disponible en el IDEAM, se tiene que la zona de proyecto cuenta con registros históricos de seis estaciones climatológicas que registran los valores de humedad relativa, las cuales se describen en la Tabla 4-1.

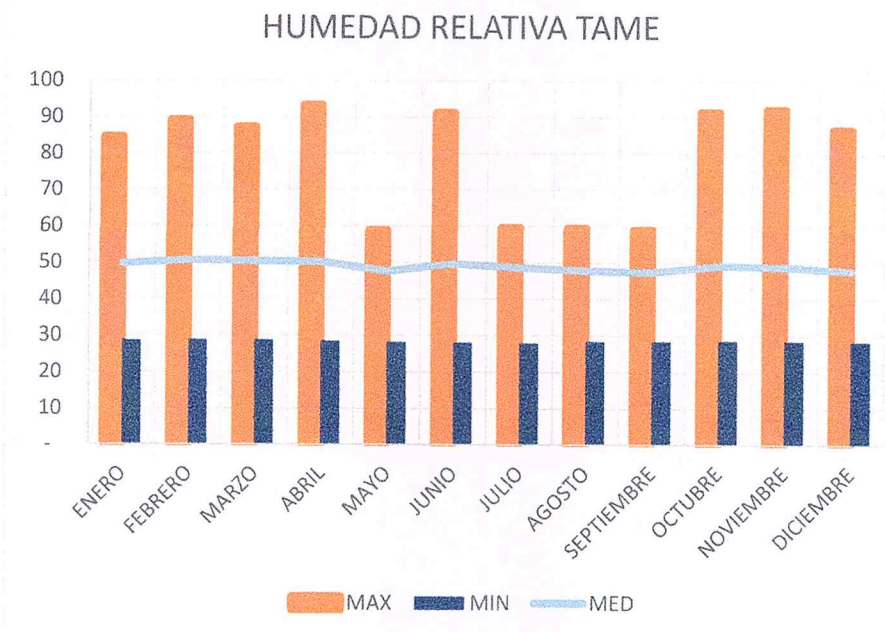
Tabla 4-1 Lista de estaciones de humedad relativa analizadas

Categoría	Estación	Código	Latitud	Longitud	Departamento	Municipio	Elevación	Período
Climática Ordinaria	TAME	36025010	6.4561	-71.7450	Arauca	Tame	350	1999 - 2023

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la información de humedad relativa en la zona de proyecto, se realiza el contraste entre los valores medios mensuales a nivel multianual como se muestra en la Figura 4-1, donde se logra observar que se presenta un comportamiento bimodal, con picos máximos en los periodos de FEBRERO y JULIO, llegando con valores medios de 51% y de 49%, con valores mínimos de 29% respectivamente.

Figura 4-1. Humedad relativa media mensual multianual



Fuente: Elaboración propia

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

De acuerdo con Figura 4-1 se observa que la estación TAME presenta los valores máximos anuales de 65.4%, medio anual de 47.3% y mínimo anual de 29.2%.

4.1.2. Temperatura

La temperatura media mensual multianual ha sido analizada a partir de la información registrada en la estación climatológica del IDEAM, referente tanto a los valores máximos como mínimos de la temperatura en la zona de proyectos, con las cuales fueron calculadas las temperaturas medias mensuales de cada una de las estaciones, estas se describen en detalle en la Tabla 4-2.

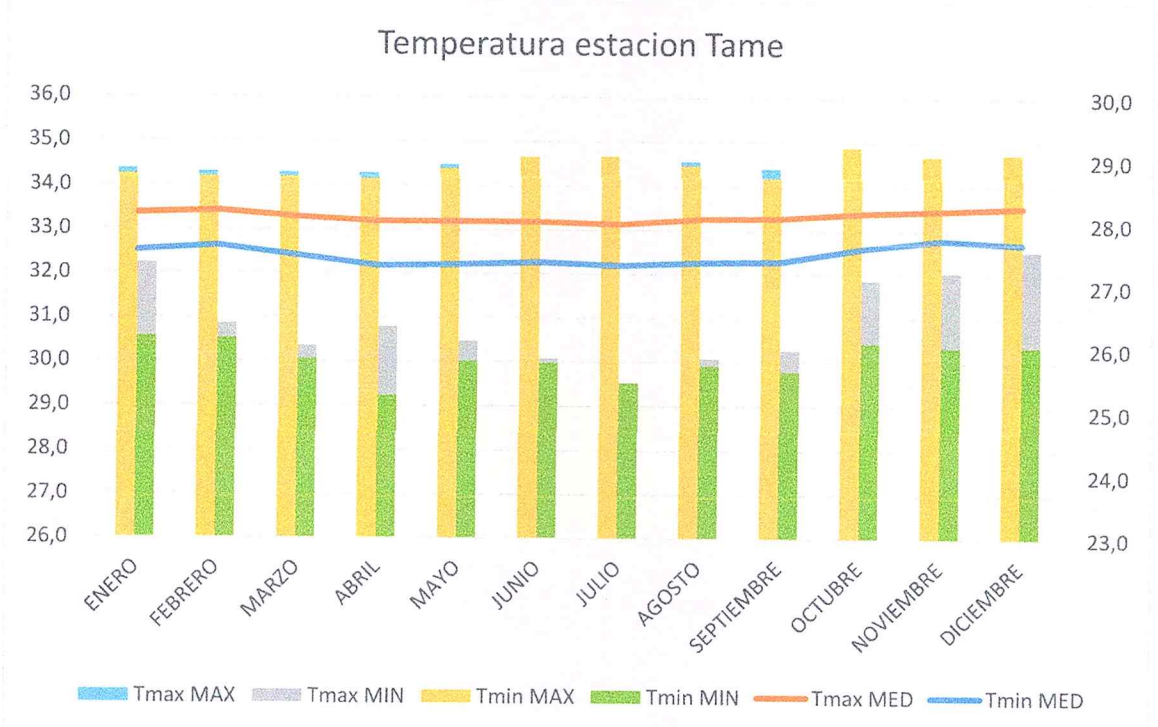
Tabla 4-2 Lista de estaciones de temperatura máxima y mínima analizadas

Categoría	Estación	Código	Latitud	Longitud	Departamento	Municipio	Elevación	Período
Climática Ordinaria	TAME	36025010	6.4561	-71.7450	Arauca	Tame	350	2005 - 2023

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-2 se muestra el contraste de las temperaturas medias mensuales a nivel multianual, donde se logra observar que la estación presenta la mayor temperatura de 36.6°C. Por otra parte, la temperatura más baja en la zona de proyecto es de 25.3°C; es de mencionar que la variación en la temperatura media mensual no excede de 1°C, con lo cual se considera que en la región la temperatura es relativamente constante a lo largo del año.

Figura 4-2. Temperatura media mensual multianual



Fuente: Elaboración propia

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

4.2. ANÁLISIS REGIONAL DE LLUVIAS

La información histórica de las precipitaciones se obtuvo a partir de los registros IDEAM actualizados para las estaciones con influencia sobre la cuenca. Dicho lo anterior, se adquirió y seleccionó la información de cuatro (4) estaciones que permitieron asignar una *intensidad adecuada a los diferentes sectores de valle y montaña por donde se desarrolla* la cuenca hidrográfica del rio Banadia, como lo son: TAME [36025010], TUNEBIA [37035010], ARAUQUITA [37050010], MORICHAL[36030030].

La determinación de la proporción y áreas de influencia de cada estación se llevó a cabo dibujando polígonos de Thiessen mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), método de distribución espacial ampliamente conocido y recomendado por el Manual de Drenaje para Carreteras del INVÍAS.

La determinación de la cantidad de lluvia aplicable a cada cuenca puede hacerse por muchos métodos, algunos relativamente complejos, como Hidrogramas Sintéticos elaborados mediante convolución precisan análisis matemáticos para integrar los hietogramas de precipitación efectiva sobre las áreas de las cuencas y los cuales son modelados mediante la aplicación de motores de cálculo como el HEC-HMS. Por otra parte, se realiza la estimación de las curvas IDF (Intensidad, duración, frecuencia) aplicando el método de Vargas – Diaz Granados, el cual fue deducido en un estudio de la Universidad de los Andes efectuado por los autores Vargas y Díaz Granados, donde se deducen 4 ecuaciones para la estimación, las cuales consideran un mayor número de variables dependiendo la complejidad de la ecuación.

Para cada una de las estaciones identificadas se adquirieron en forma de series históricas, los valores de precipitación máxima mensual en 24 horas, número de días con lluvia, precipitación media anual, elevación de la estación, información que se produce a partir del monitoreo diario en las estaciones del IDEAM.

Del total adquirido, en la Tabla 4-3 se presenta la información de las tres (3) estaciones analizadas, las que cuentan con datos consistentes de precipitación. Es de mencionar que la zona de proyecto no cuenta con estación de registro de niveles y caudales. De tal ausencia se deriva la necesidad de utilizar Modelos Lluvia - Escorrentía y adquirir la información de las mencionadas estaciones para estimar los caudales de diseño. En la Tabla 4-3 se relacionan igualmente los períodos analizados.

Tabla 4-3 Lista de estaciones de precipitación analizadas

Categoría	Estación	Código	Latitud	Longitud	Departamento	Municipio	Elevación	Período
Climática Ordinaria	TUNEBIA	37035010	7.006	-72.115	Norte de Santander	Toledo	370	1985 - 2023
Pluviométrica	MORICHAL	36030030	6.570	-71.707	Arauca	Tame	300	1999 - 2023
Climática Ordinaria	TAME	36025010	6.4561	-71.7450	Arauca	Tame	350	1999 - 2023
Pluviométrica	ARAUQUITA	37050010	7.037	-71.419	Arauca	Arauquita	100	1999 - 2023

Fuente: Elaboración propia

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Conforme lo establece la disposición legal actual de entrega de información, en este proyecto se reconoce la autoría y propiedad de la información histórica al IDEAM.

4.2.1. Longitud de registro de análisis

Como se mencionaba en el consecutivo anterior, se ha realizado la adquisición y selección de la información de precipitación en la zona de proyecto, es de mencionar que en la región se encuentran ubicadas 4 estaciones de monitoreo de precipitación, de las cuales fueron analizadas 4 de ellas, teniendo en cuenta que su localización fuese aferente a la cuenca de drenaje del proyecto y que contaran con un rango aceptable de información anual para el análisis.

En la Tabla 4-4 se presenta el resumen de las 4 estaciones que se encuentran ubicadas en la región junto con los años de registro anual existentes en la estación, relacionando los registros desde el año 1985, esto en función de justificar la homogeneidad en la existencia de registros de información de precipitación en el periodo 1985 - 2023, los cuales se representan mediante recuadros en color azul, mientras los recuadros en color rojo simbolizan la ausencia de información de más de dos meses de registro en cada año.

Tabla 4-4 Series de registros de precipitación

TP	Estación	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CO	TUNEBIA																																						
PM	MORICHAL																																						
CO	TAME																																						
PM	ARAUQUITA																																						

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Análisis de Confiabilidad de la Información

Una vez obtenidos los registros de precipitación máximas mensuales en 24 horas, número de días con lluvia, precipitación media anual y elevación de la estación, se procede a verificar la validez de las series, esto en función de determinar la calidad y confiabilidad de la información que reposa en los registros. Para el caso específico del proyecto, se observa que los registros se encuentran incompletos, ya que faltan meses de registro de precipitación en algunos años, lo cual afecta en el promedio multianual al momento de la estimación de las curvas IDF y en la representación espacial de la precipitación en la cuenca en estudio; dicho lo anterior, se procede a realizar un análisis de los datos faltantes en las series anuales para el periodo de diseño seleccionado (1986 – 2023) y así mismo evaluar la viabilidad de utilizar el año de registro en el proceso de cálculo.

La verificación de confiabilidad de la información se ha realizado de la siguiente manera:

- Análisis de los registros de precipitación máxima mensual en 24 horas.
- Análisis de los registros de precipitación media anual.
- Análisis de los registros del número de días con lluvia.
- Series anuales con registros mensuales faltantes.
- Identificación de datos anómalos mediante el método de diagrama de caja.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

- Identificación de datos anómalos a partir de la aplicación de pruebas no paramétricas, para el caso específico del proyecto se ha aplicado el test de Grubbs.

De acuerdo con la metodología anteriormente expuesta, se han descartado las series anuales en las cuales haya ausencia en más de dos registros mensuales; así mismo se han descartado aquellos datos considerados como anómalos luego de la aplicación del método de Box Plots y el método de Grubbs. A continuación, se presenta el resumen de las series anuales descartadas bajo los criterios señalados anteriormente.

Tabla 4-5 Listado se series anuales descartadas

TP	Estación	Años descartados
CO	TUNEBIA	1996
PM	MORICHAL	186,1987,1988,1992,1996,1998,2001,2002,2003,2004
CO	TAME	1986,1987,1989,1990,1991,1992,1995,1996,2003,2004,2005,2006
PM	ARAUQUITA	2000,2003

Fuente: Elaboración propia

Luego de descartados los registros anuales señalados en la Tabla 4-5, se procede al realizar los análisis de lluvia en cada una de las estaciones, pertinentes para la representación de la pluviosidad en la zona de proyecto

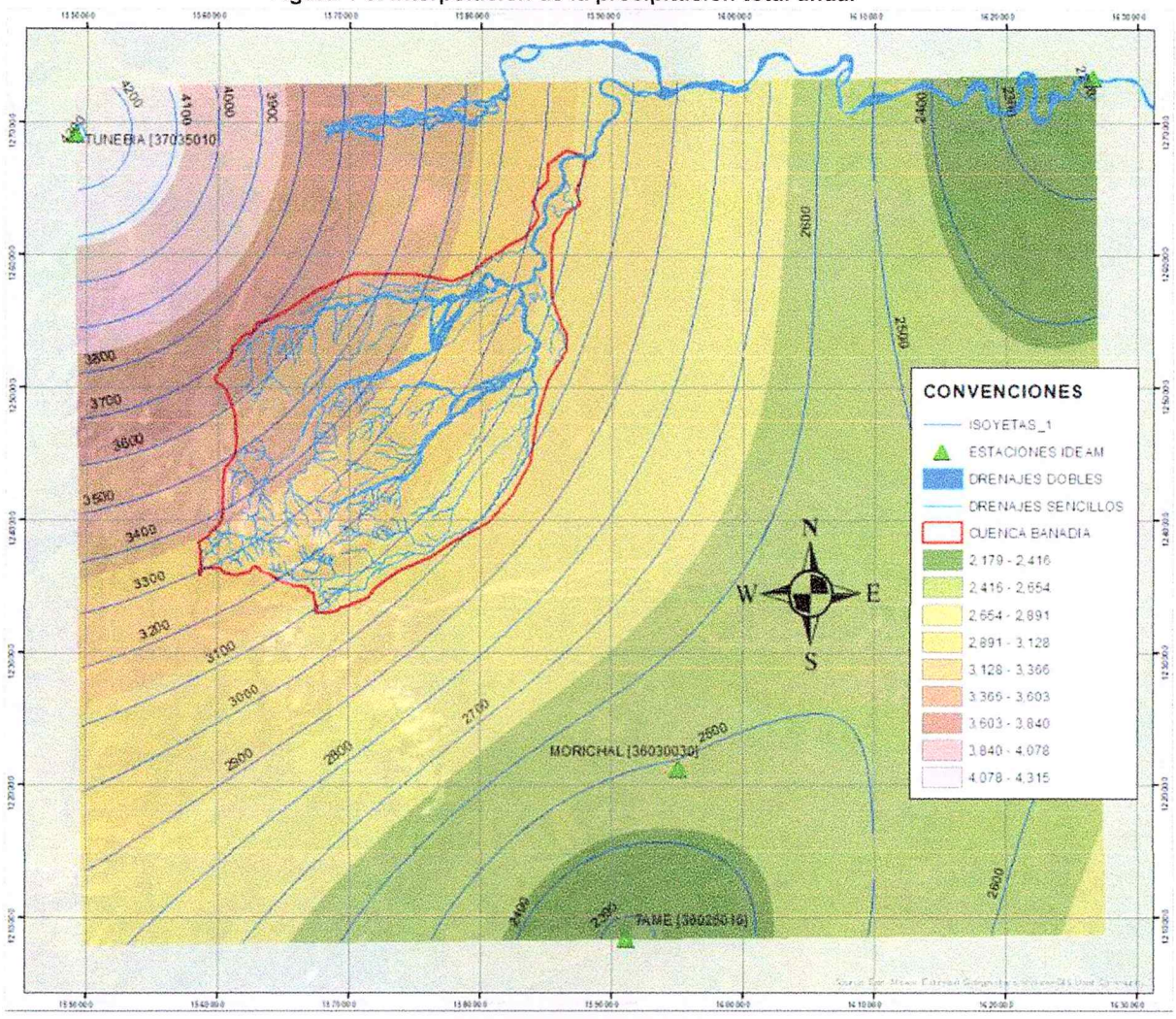
4.2.3. Distribución espacial de la precipitación

El análisis permite clasificar la distribución de lluvias de las cuenca de drenaje aferentes al proyecto, teniendo como punto de referencia el norte geográfico, se puede decir que la mayor precipitación de la zona se presenta hacia la zona norte, específicamente en la estación TUNEBIA, en la cual se registra en promedio una precipitación total anual de 4772mm; mientras que la zona con menor precipitación es la ubicada en aferencia de la estación ARAUQUITA, donde en promedio se presenta una precipitación total anual de 1929mm.

Una vez calculado el valor de precipitación total anual multianual de las 4 estaciones de precipitación se procede a realizar su ubicación espacial mediante el uso de herramientas para el tratamiento de sistemas de información geográfico, con lo cual se construye la interpolación de la precipitación entre estaciones aplicando el método de isoyetas, tal y como se muestra en la Figura 4-3.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Figura 4-3. Interpolación de la precipitación total anual



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados de la interpolación de la precipitación total anual multianual, se tiene que las estaciones con mayores registros de lluvia son TUNEBIA, MORICHAL y TAME, con lo cual es posible concluir que en la región se presentan precipitaciones moderadamente altas, comparadas con las precipitaciones totales anuales máximas que se registran en Colombia.

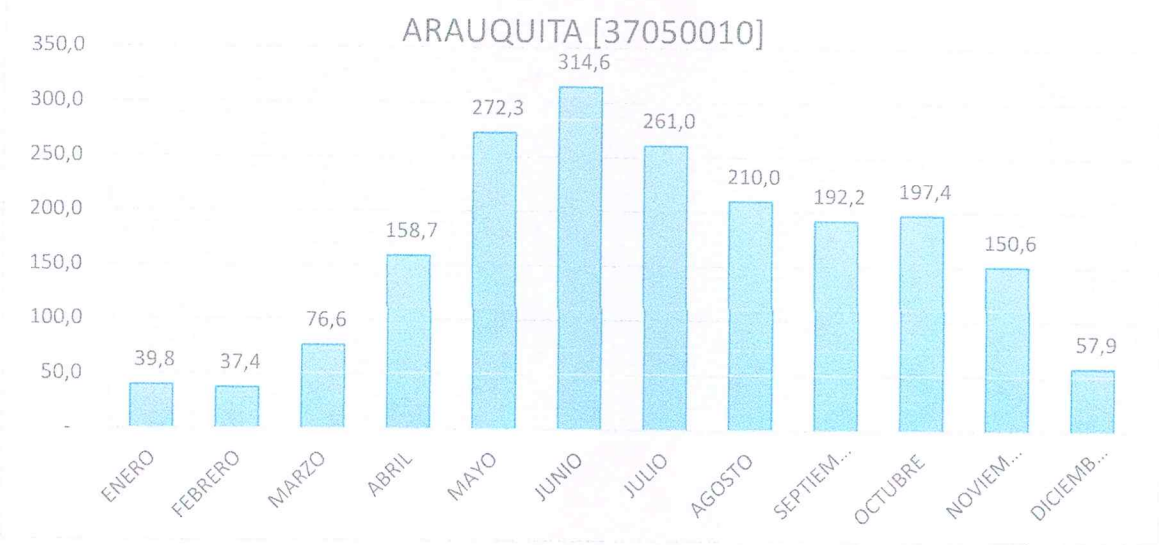
Por otra parte, las precipitaciones medias mensuales multianuales de las cuatro estaciones analizadas presentan un comportamiento monomodal, mostrando sus picos máximos en los periodos de mayo – julio, con periodos secos en los meses de enero – febrero.

4.2.4. Régimen de lluvias

A continuación, se presentan los histogramas de precipitación media mensual multianual de las 4 estaciones pluviométricas y pluviográficas analizadas.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Figura 4-4. Precipitación media mensual multianual – ARAUQUITA

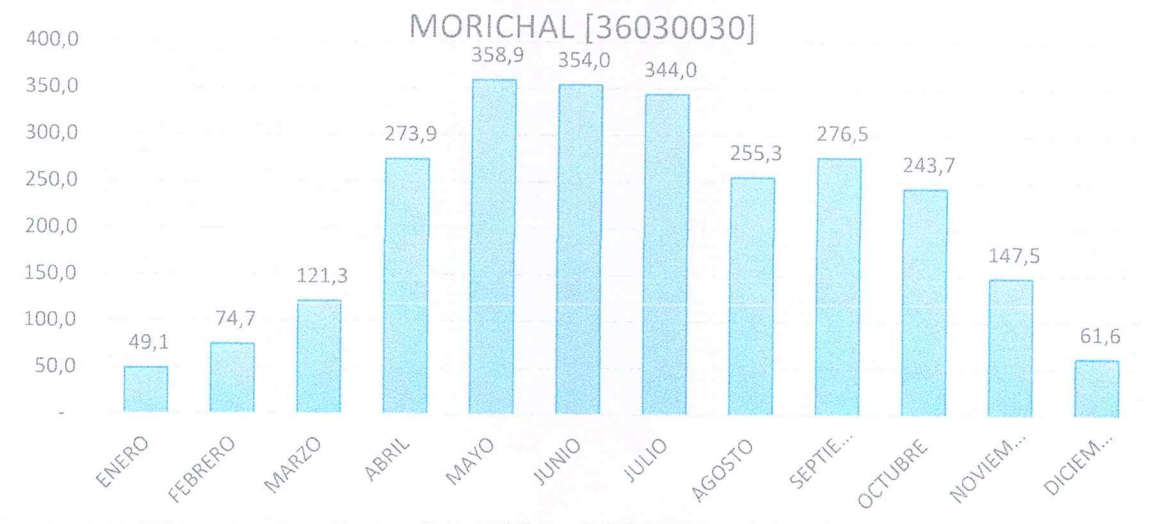


Fuente: Elaboración propia

De la Figura 4-4 se observa una variación de la precipitación media mensual en un ciclo monomodal, mostrando su pico máximo en JUNIO, con periodos secos en los meses de diciembre – febrero.

El mes de febrero corresponde al mes menos lluvioso del año con 37.4 mm desde donde crece la precipitación hasta alcanzar 314.6 mm en junio.

Figura 4-5. Precipitación media mensual multianual – Estación MORICHAL

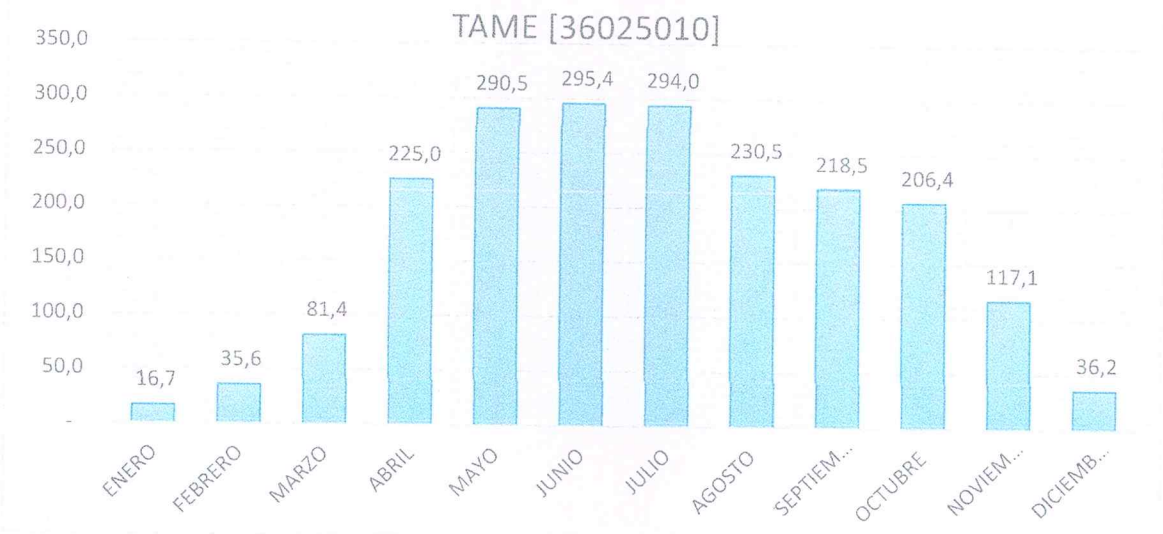


Fuente: Elaboración propia

De la Figura 4-5 se observa una variación de la precipitación media mensual nuevamente en un ciclo monomodal, con el pico en el mes de mayo. Los valores más bajos se presentan en enero. El mes de enero corresponde al más seco del año con 49.1 mm desde donde crece la precipitación hasta alcanzar 358.9 mm en mayo.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Figura 4-6. Precipitación media mensual multianual – TAME

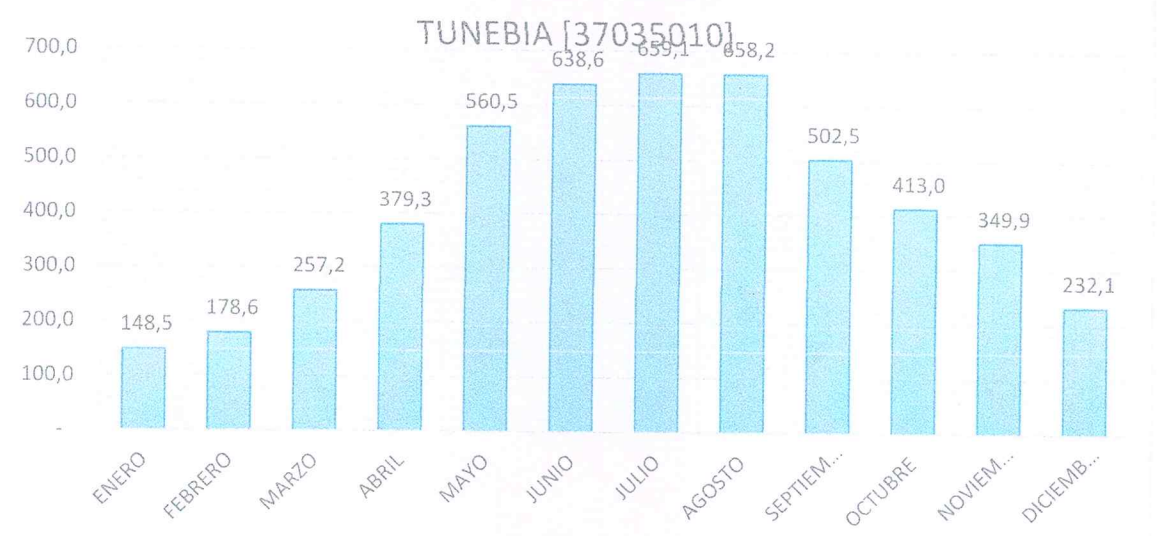


Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la estación TAME mostrada en la Figura 4-6, se nota una variación en la precipitación media mensual de forma monomodal, con pico el mes de JUNIO, lo cual indica que dicho mes es el más lluviosos del año.

Los valores más bajos se presentan en enero. El mes de enero corresponde al mes menos lluvioso del año con 16.7 mm desde donde crece la precipitación hasta alcanzar 295.4 mm en junio.

Figura 4-7. Precipitación media mensual multianual – TUNEBIA



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-7 se muestra los valores medios de la estación TUNEBIA, donde se hace evidente la variación monomodal de la precipitación. El pico esta presente en el mes de JULIO y el mínimo en el mes de ENERO. El mes de enero corresponde al mes menos

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

lluvioso del año con 148.5 mm desde donde crece la precipitación hasta alcanzar 659.1 mm en julio.

4.2.5. Relaciones de Intensidad – Duración – Frecuencia - IDF

Una vez organizada la información correspondiente a los registros meteorológicos de las estaciones aferentes del proyecto, esta consultoría procede a la estimación de las curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia) mediante la aplicación de la cuarta ecuación de la metodología de Vargas & Diaz Granados. A continuación, se incluye la metodología para la estimación de la intensidad de diseño.

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^e * PT^f * ELEV^g$$

Dónde:

I: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).
T: Periodo de retorno (años).
t: Duración de lluvia (minutos).
M: promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (mm/h).
N: promedio del número de días con lluvia al año (días).
PT: precipitación media anual (mm/h).
ELEV: Elevación de la estación.
a, b, c, d, e, f, g: Parámetros de ajuste de la regresión.

Observando la
Tabla 4-6 Coeficientes de regresión de acuerdo con la región colombiana

Región	a	b	c	d	e	f	g
Andina R1	1.64	0.19	0.65	0.73	-0.13	0.08	-0.01
Caribe R2	8.39	0.21	0.49	-0.01	-0.04	0.26	-0.01
Pacifico	2.75	0.19	0.58	-0.19	0.14	0.37	-0.01
Orinoquia	1.4E-28	0.19	0.58	5.63	-1.52	6.64	-0.62

Fuente: Vargas y Diaz Granados

Figura 4-8, se tiene que en la zona del proyecto pertenece a la región andina "R1", con lo cual se determinan los parámetros a, b, c, d, e, f y g en función de la Tabla 4-6.

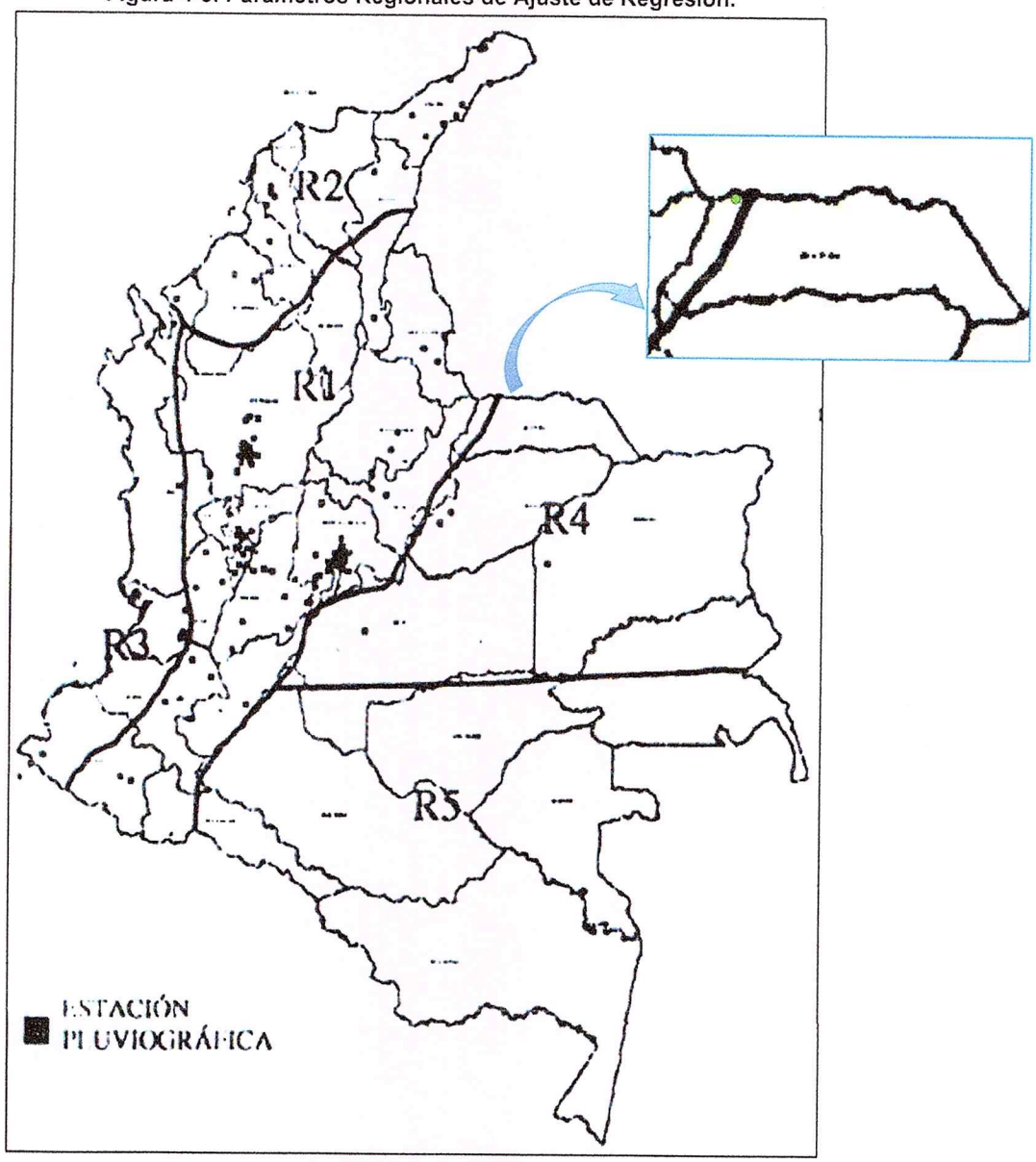
Una vez determinada la región a la cual pertenece la zona de proyecto, se procede a seleccionar los parámetros correspondientes a la zona R1 para la estimación correspondiente de las curvas IDF a diferentes periodos de retorno en diversos tiempos de concentración, aplicando la metodología antes descrita para cada una de las estaciones aferentes al proyecto. Conforme a lo expuesto en la Tabla 4-6 se tiene para la zona andina los parámetros a: 1.64, b: 0.19, c:0.65, d:0.73, e:-0.13; f:0.08 y g:-0.01. En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** pueden observarse las memorias de cálculo para la estimación de las curvas IDF.

Tabla 4-6 Coeficientes de regresión de acuerdo con la región colombiana

Región	a	b	c	d	e	f	g
Andina R1	1.64	0.19	0.65	0.73	-0.13	0.08	-0.01
Caribe R2	8.39	0.21	0.49	-0.01	-0.04	0.26	-0.01
Pacifico	2.75	0.19	0.58	-0.19	0.14	0.37	-0.01
Orinoquia	1.4E-28	0.19	0.58	5.63	-1.52	6.64	-0.62

Fuente: Vargas y Diaz Granados

Figura 4-8. Parámetros Regionales de Ajuste de Regresión.



Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Curvas IDF – ARAUQUITA

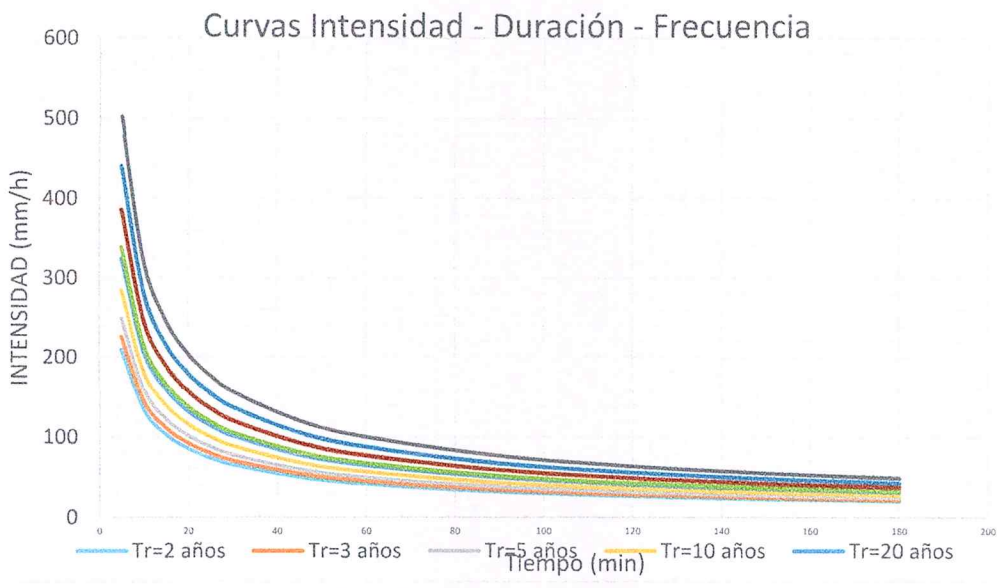
A continuación, se presenta la aplicación de la metodología expuesta anteriormente para la estimación de las curvas IDF la estación, teniendo como variables un promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (M) de 99.67mm, 108 días de lluvia promedio al año (N), una media de precipitación total anual de 1929.06mm (PT) y 100 msnm de elevación de la estación (ELEV). De acuerdo con el valor de las variables propias de la estación y los parámetros regionales de la ecuación, se procede a realizar la estimación para cada uno de los periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 20, 25,50,100 y 200 años, con diferentes tiempos de concentración tal y como lo recomienda el Manual de Drenaje para Carreteras.

Tabla 4-7. Curvas IDF – Aeropuerto El Edén

t	Tr (años)								
(min)	2	3	5	10	20	25	50	100	200
5	257.53	278.15	306.50	349.65	398.86	416.14	474.71	541.54	617.77
10	164.12	177.26	195.33	222.82	254.19	265.20	302.53	345.11	393.69
15	126.09	136.19	150.07	171.20	195.30	203.75	232.44	265.15	302.48
20	104.59	112.96	124.48	142.00	161.99	169.00	192.79	219.93	250.89
25	90.47	97.71	107.67	122.83	140.12	146.19	166.76	190.24	217.02
30	80.36	86.79	95.64	109.10	124.46	129.85	148.13	168.98	192.76
45	61.74	66.68	73.48	83.82	95.62	99.77	113.81	129.83	148.10
60	51.21	55.31	60.95	69.53	79.32	82.75	94.40	107.69	122.84
90	39.35	42.50	46.83	53.42	60.94	63.58	72.53	82.74	94.38
120	32.64	35.25	38.84	44.31	50.55	52.74	60.16	68.63	78.29
150	28.23	30.49	33.60	38.33	43.72	45.62	52.04	59.36	67.72
180	20.38	22.01	24.26	27.67	31.57	32.94	37.57	42.86	48.89

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-9. Curvas IDF – ARAUQUITA



Fuente: Elaboración propia

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Curvas IDF – MORICHAL

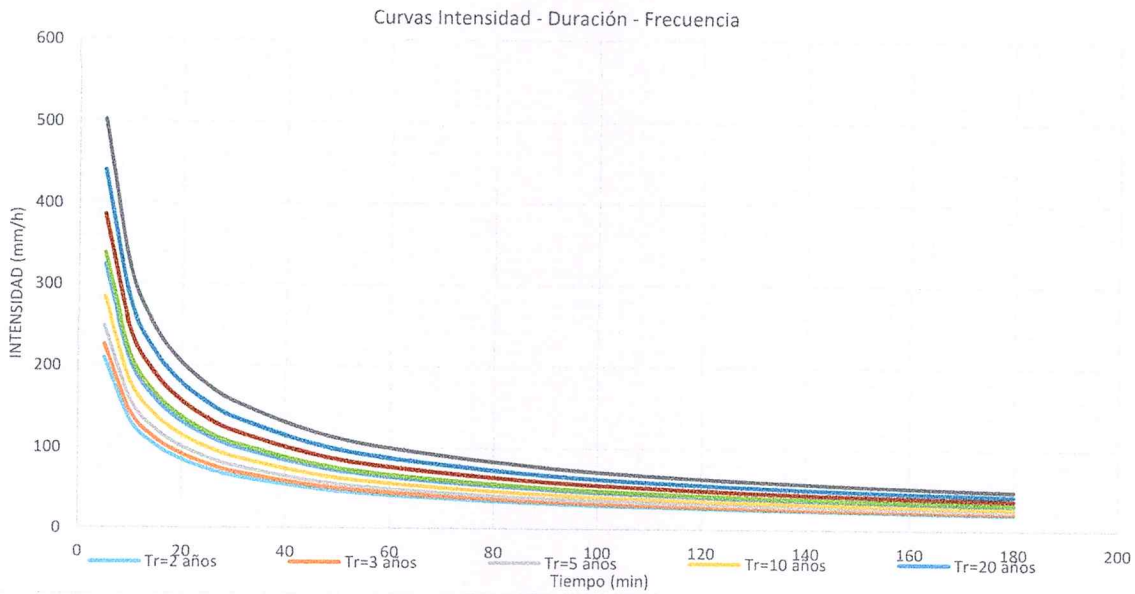
A continuación, se presenta la aplicación del método mencionado para la estimación de las curvas IDF de la estación, donde de acuerdo con los registros de precipitación se tiene M de 108.67mm, N de 116 días, PT de 2536.50mm y ELEV de 300msnm.

Tabla 4-8. Curvas IDF – Estación MORICHAL

t (min)	Tr (años)								
	2	3	5	10	20	25	50	100	200
5	274.68	296.68	326.91	372.93	425.43	443.85	506.33	577.60	658.91
10	175.05	189.07	208.34	237.66	271.12	282.86	322.67	368.09	419.91
15	134.49	145.26	160.07	182.60	208.30	217.32	247.92	282.81	322.62
20	111.55	120.49	132.77	151.46	172.78	180.26	205.63	234.58	267.60
25	96.49	104.22	114.84	131.01	149.45	155.92	177.87	202.91	231.47
30	85.71	92.57	102.01	116.37	132.75	138.50	157.99	180.23	205.60
45	65.85	71.13	78.37	89.41	101.99	106.41	121.39	138.47	157.97
60	54.62	58.99	65.01	74.16	84.60	88.26	100.69	114.86	131.03
90	41.97	45.33	49.95	56.98	65.00	67.81	77.36	88.25	100.67
120	34.81	37.60	41.43	47.26	53.91	56.25	64.16	73.20	83.50
150	30.11	32.52	35.83	40.88	46.63	48.65	55.50	63.31	72.23
180	26.74	28.89	31.83	36.31	41.42	43.22	49.30	56.24	64.15

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-10. Curvas IDF – Estación MORICHAL



Fuente: Elaboración propia

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Curvas IDF – Estación TAME

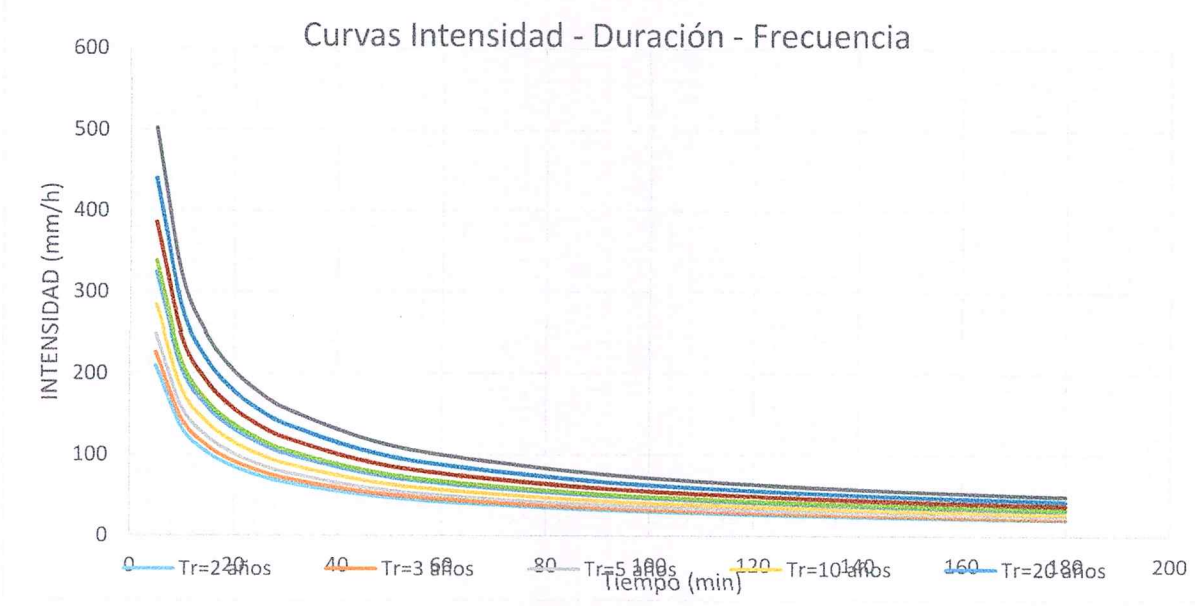
En la estación TAME, se presenta la aplicación del método utilizando como variables propias de la zona registros de precipitación con M de 101.42mm, N de 112 días, PT de 2018.57mm y ELEV de 350msnm.

Tabla 4-9. Curvas IDF – Estación TAME

t (min)	Tr (años)								
	2	3	5	10	20	25	50	100	200
5	257.41	278.03	306.36	349.49	398.68	415.95	474.50	541.29	617.49
10	164.04	177.18	195.24	222.72	254.07	265.08	302.39	344.96	393.51
15	126.04	136.13	150.01	171.12	195.21	203.66	232.33	265.04	302.34
20	104.54	112.91	124.42	141.94	161.92	168.93	192.71	219.83	250.78
25	90.43	97.67	107.62	122.77	140.06	146.12	166.69	190.15	216.92
30	80.32	86.75	95.60	109.05	124.40	129.79	148.06	168.90	192.68
45	61.71	66.65	73.45	83.79	95.58	99.72	113.76	129.77	148.04
60	51.19	55.29	60.92	69.50	79.28	82.71	94.36	107.64	122.79
90	39.33	42.48	46.81	53.40	60.91	63.55	72.50	82.70	94.34
120	32.62	35.23	38.82	44.29	50.52	52.71	60.13	68.60	78.25
150	28.22	30.48	33.58	38.31	43.70	45.59	52.01	59.33	67.69
180	25.06	27.07	29.83	34.03	38.82	40.50	46.20	52.70	60.12

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-11. Curvas IDF – Estación TAME



Fuente: Elaboración propia

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Curvas IDF – Estación TUNEBIA

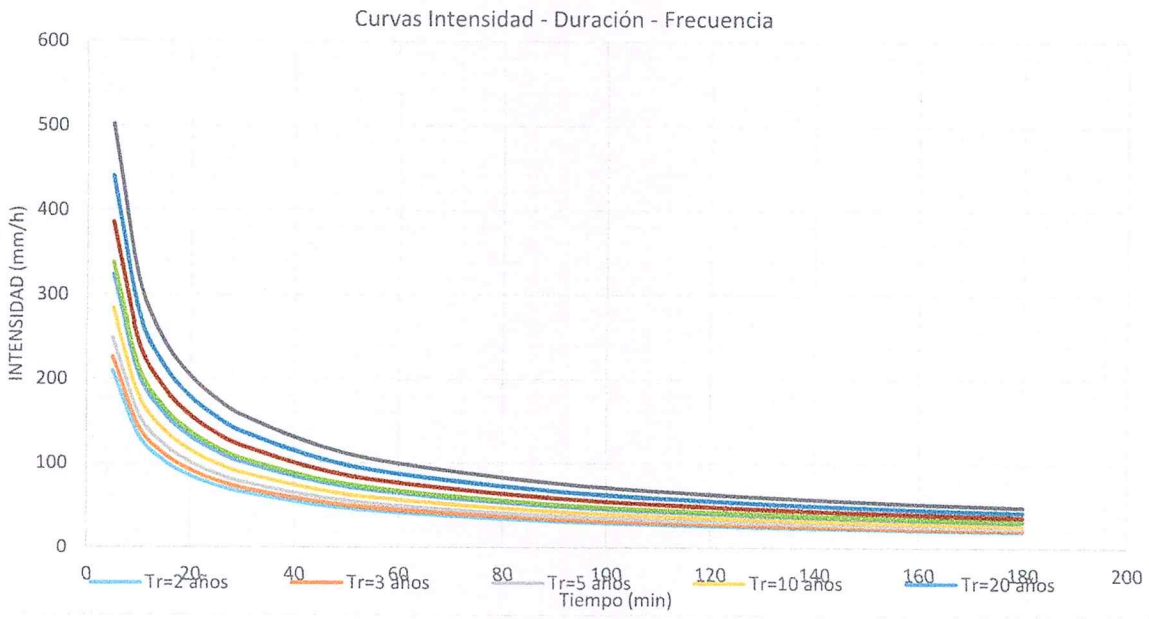
En la estación TAME, se presenta la aplicación del método utilizando como variables propias de la zona registros de precipitación con M de 149.52mm, N de 224 días, PT de 4883.72mm y ELEV de 370msnm.

Tabla 4-10. Curvas IDF – Estación TUNEBIA

t (min)	Tr (años)								
	2	3	5	10	20	25	50	100	200
5	334.88	361.70	398.56	454.67	518.67	541.13	617.30	704.19	803.32
10	213.41	230.50	254.00	289.75	330.54	344.85	393.39	448.77	511.94
15	163.97	177.10	195.15	222.62	253.96	264.96	302.25	344.80	393.33
20	136.00	146.89	161.87	184.65	210.64	219.77	250.70	285.99	326.25
25	117.64	127.06	140.01	159.72	182.20	190.10	216.85	247.38	282.20
30	104.49	112.86	124.37	141.87	161.84	168.85	192.62	219.73	250.66
45	80.28	86.71	95.55	109.00	124.35	129.73	147.99	168.82	192.59
60	66.59	71.92	79.26	90.41	103.14	107.61	122.75	140.03	159.74
90	51.16	55.26	60.89	69.46	79.24	82.67	94.31	107.59	122.73
120	42.44	45.84	50.51	57.62	65.73	68.57	78.23	89.24	101.80
150	36.71	39.65	43.69	49.84	56.85	59.32	67.67	77.19	88.06
180	334.88	361.70	398.56	454.67	518.67	541.13	617.30	704.19	803.32

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-12. Curvas IDF – Estación TUNEBIA



Fuente: Elaboración propia

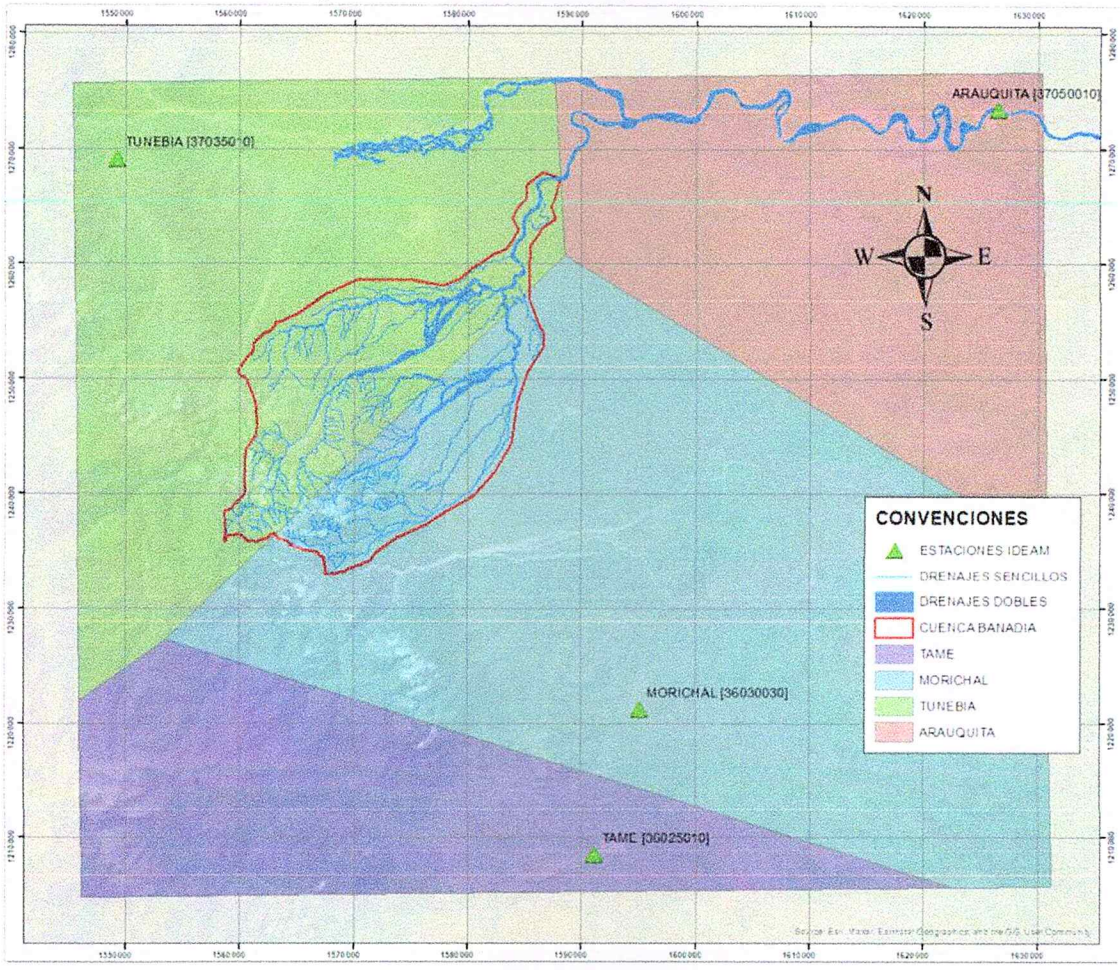
[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

4.3. ESTIMACIÓN DE LA LLUVIA MEDIA EN LA CUENCA

La estimación de la lluvia media sobre la superficie de las cuencas y la aferencia de las estaciones de monitoreo en cada una de ellas se realiza bajo la aplicación del método de polígonos de Thiessen, el cual tiene como filosofía fundamental considerar que la *profundidad e intensidad de lluvia en cualquier punto de la cuenca* es igual a la registrada en la estación de monitoreo más cercana, este valor de profundidad e intensidad es aplicable hasta la mitad de la distancia entre estaciones; adicionalmente, los pesos relativos de cada estación se determinan de las áreas de aplicación en la red de polígonos, donde las fronteras están formadas por los bisectores perpendiculares a las líneas de unen las estaciones adyacentes.

Es de mencionar que para el caso específico del proyecto en estudio, la espacialización y zonificación de la lluvia sobre las cuencas se ha realizado en base a la intensidad de la misma, con lo cual se han definido las áreas de los polígonos y la intensidad de la lluvia en cada una de las estaciones mediante la estimación de las curvas IDF, dichos insumos sirven como pieza fundamental para la estimación del valor ponderado de la intensidad de lluvia sobre cada una de las cuencas donde interfiere más de una estación.

Figura 4-13. Distribución Polígonos de Thiessen



Fuente: Elaboración propia

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

La estimación de la intensidad media en cada una de las cuencas se realiza mediante la expresión que se muestra a continuación.

$$\bar{I} = \frac{1}{A}\sum_{J=1}^{J} A_J I_J$$

Dónde:

A: Área total de la cuenca.
AJ: Área del polígono J.
I: Intensidad media en la cuenca
IJ: Intensidad estimada del polígono J.

Para el caso específico de la CUENCA DEL RIO BANADIA, se ha utilizado en su mayoría el polígono de la estación TUNEBIA y MORICHAL, para la ponderación de la intensidad media de dicha cuenca de acuerdo con las áreas aferentes de los polígonos.

4.4. PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO

Teniendo en cuenta la recomendación del Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS, se adoptan los períodos de retorno de diseño en función del tipo de estructura de drenaje, según se indica en la Tabla 4-11.

Tabla 4-11. Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial

Tipo de Obra	Periodo de Retorno (Años)
Drenaje subsuperficial	2
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0.90m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10m y menor a 50m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50m	100
Análisis de socavación	**100**

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS

4.5. ANÁLISIS DE CAUDALES

Se procede a construir modelos de lluvia – escorrentía, análisis regional de caudales máximos instantáneos anuales aplicando metodologías debidamente soportadas y que utilicen al máximo parámetros físico-climáticos de la región.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Los caudales de diseño podrán ser estimados por al menos uno de los cuatro métodos más conocidos, entre los cuales se destacan el Método Racional, Método del Hidrograma de Escorrentía Superficial, el Modelo Lluvia-Escorrentía propuesto por el Soil Conservation Service (SCS), el Hidrograma Unitario (p.e: el Hidrograma Unitario Sintético de Snyder, el *Hidrograma Unitario Triangular*, el *Hidrograma Unitario del SCS* y adoptado por el U.S. Bureau Of Reclamation), o el Método de Regionalización de Crecidas en Colombia desarrollado por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
Para el caso específico de este proyecto se utiliza el Método del número de curva CN del SCS (Soil Conservation Service), el cual se basa en la profundidad de escorrentía en función de la profundidad total de precipitación, donde se relacionan mediante un numero de curva de acuerdo a la tipología y capacidad de infiltración del terreno.

4.5.1. Parámetros y justificación de fórmulas empleadas

Pendiente media del cauce (S)

Es la variación de inclinación del cauce. Determina la velocidad de escurrimiento del agua. A mayor pendiente, mayor velocidad.
La pendiente media del cauce se realizó por el método de Taylor - Schwarz, que ajusta una rasante al perfil de la corriente, debido a que considera que el río puede estar formado por una seria de tramos de igual longitud o de longitud variable.

$$S = \left[\frac{Lt}{\sum_{I=1}^{n} \frac{Li}{\sqrt{Si}}}\right]^2$$

Dónde:

Lt: Longitud total del cauce principal en (km)
Li: Longitud en que se divide el cauce principal (km)
Si. Pendiente de cada uno de los tramos

Tiempo de Concentración

El Tiempo de Concentración se define como la duración que tiene una partícula de agua en desplazarse a lo largo del cauce, desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de analisis. Este tiempo puede ser estimado mediante varios métodos, muchos empíricos; sin embargo, desde el punto de vista de la seguridad, menores tiempos de concentración generan mayores intensidades de precipitación e histogramas más concentrados, por lo que de acuerdo con el Manual de Drenaje para Carreteras del INVÍAS la metodología más utilizada es la fórmula de Kirpich.
De acuerdo con lo anterior, se emplea para la estimación del tiempo de concentración la fórmula Kirpich, junto con la fórmula de Bransby-Williams, esto en función de contrastar la magnitud del tiempo de concentración bajo el uso de fórmulas poco conservadoras y muy conservadoras.

El tiempo de concentración según el método de Kirpich se estima como:

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

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

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración (horas)
L: Longitud del cauce (km)
S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) en metros por metro (m/m).

De igual manera, se presenta a continuación el método de Bransby - Williams:

$$T_c = 0.683 * \left(\frac{L * A^{0.40}}{D * S^{0.25}}\right)$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración (horas)
L: Longitud del cauce principal (km)
A: Área de la cuenca (km²)
D: Diámetro de una cuenca circular con área "A" (km)
S: Pendiente total del cauce principal (%)

Con el objetivo de evitar sobreestimar el valor de la precipitación de lluvia y evitar valores irreales de intensidad de precipitación, el Manual de Drenaje para Carreteras recomienda tomar como tiempo de concentración mínimo 15 minutos.

En la zona tropical del proyecto, se consideran típicas las duraciones de aguaceros cercanas a tres horas. Con el fin de estimar las duraciones de la lluvia se podría usar este valor salvo que se calcule específicamente el tiempo de concentración como se hizo en efecto.

Método del SCS

Se utilizó el método del Natural Resources Conservation Service (NRCS) conocido también como SCS, para calcular la escorrentía directa en las cuencas que superan los 2.5km^2 de área aferente. Adicionalmente el método SCS permite calcular un hidrograma unitario (H.U.) en dos opciones: curvilíneo adimensional, o triangular, una forma simplificada del primero que arroja el caudal máximo de diseño, al aplicar al H.U. el hietograma de escorrentía directa por el método de convolución, cuando las duraciones de la lluvia total son de dos horas o más, y se incluye como uno de los métodos del programa HEC-HMS para predecir crecientes en cuencas.
Las siguientes suposiciones básicas son inherentes en este modelo:

- Una duración de lluvia de diseño de 180 minutos, la cual es la duración típica en Colombia.
- El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva y las tormentas seleccionadas para el análisis deben ser de corta duración.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

- El exceso de precipitación está uniformemente distribuido en toda el área de drenaje; si ésta es muy grande, debe dividirse en subcuencas analizando tormentas que cubran toda la subárea.
- El tiempo base de la duración de la escorrentía directa, resultante de un exceso de lluvia de una duración dada, es constante.
- Las ordenadas de todas las duraciones de escorrentía directa, de una base de tiempo común, son directamente proporcionales a la cantidad total de escorrentía directa, representada por cada hidrograma.

Como tiempo de duración de la lluvia unitaria, se consideró menor o igual a la quinta parte del tiempo de concentración.
El hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de la cuenca. El hidrograma unitario se considera único para la cuenca dada, e invariable con respecto al tiempo, y es aplicable solamente cuando no se presenten cambios ni almacenamientos apreciables en la cuenca estudiada.

Para hallar el caudal máximo originado por la escorrentía directa, se utilizó el hidrograma unitario curvilíneo, cuyo pico está definido por las ecuaciones basándose en el hidrograma unitario triangular del SCS.

$$T_p = \frac{D}{2} + t_p \qquad t_p = 0.6 * Tc \qquad D = 0.2 * T_p \qquad t_b = 0.9 * T_p$$

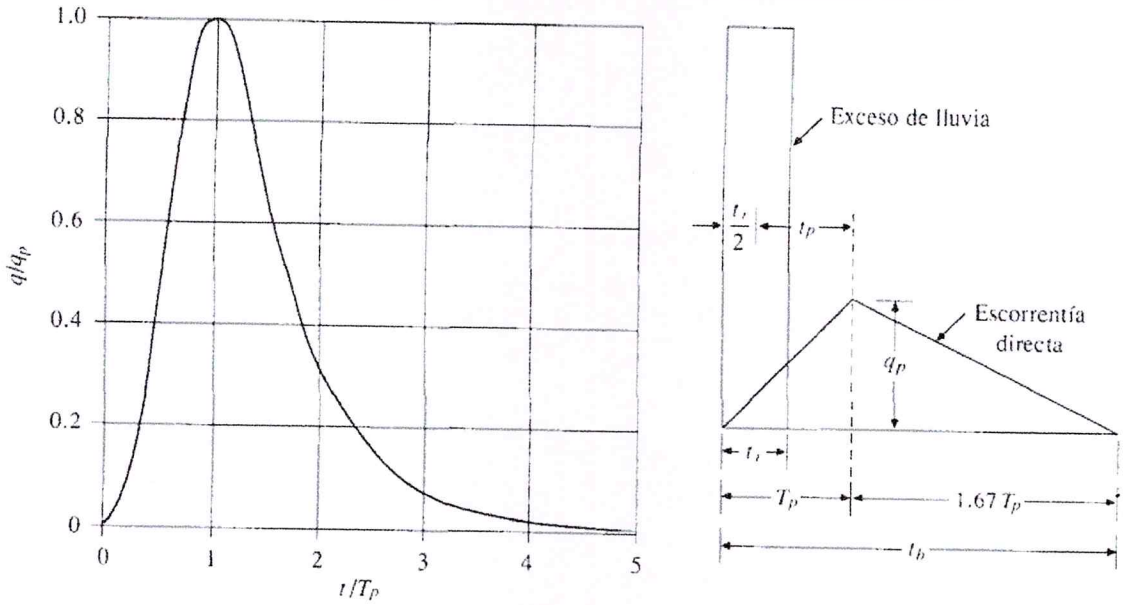
$$t_b = 2.67 * tp \qquad q_p = \frac{2.08 * A}{T_p} \qquad P_e = \frac{V_e}{A} \qquad Q_p = q_p * P_e$$

Dónde:

D: Duración de la lluvia efectiva (h).
Tc: Tiempo de concentración de la cuenca (h).
Tp: Tiempo al pico (h).
qp: Caudal al pico (h).
tp: Tiempo de retardo en la punta(h).
A: Área (km³)
Ve: Volumen de escorrentía del hidrograma (m²)
Pe: Precipitación efectiva (mm)
tAb: Tiempo base (h).
Qp: Caudal de diseño.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Figura 4-14. Hidrogramas unitario sintéticos Soil Conservation Service



Fuente: Chow, V. – Maidment, D. - Mays, L, 1994

La hipótesis fundamental del método NRCS para el cálculo de escorrentía directa es aceptar la validez de la siguiente relación (S=Retención o infiltración Máxima potencial):

Por continuidad puede observarse en la que se cumple la siguiente igualdad:

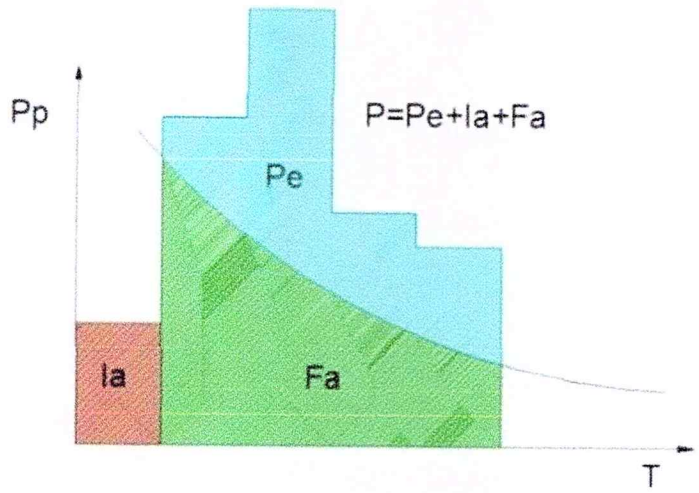
$$P = P_e + I_a + F_a \quad ; \quad \frac{F_a}{S} = \left(\frac{P_e}{P - I_a}\right)$$

Dónde:

Pe: Precipitación efectiva = (Escorrentía directa en pulgadas) = Q
P: Precipitación total en pulgadas
S: Diferencia potencial máxima entre P y Pe(=Q).
CN: Número de Curva
Ia: 0,2 S; número abstracto obtenido de observaciones y nunca mayor que P.
Fa: infiltración ocurrida a partir del momento en que empieza el escurrimiento.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Figura 4-15. Precipitación efectiva



Fuente: Adaptado de Soil Conservation Service (SCS)

La Figura 4-15 muestra los diferentes componentes en que se divide la precipitación desde que se inicia. Así mismo, se parte de la consideración que la precipitación efectiva (Pe) es menor o a lo sumo igual que la precipitación total (P) y que la retención acumulada (Fa) es siempre menor o igual que la retención potencial máxima (S).

$$P_e = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S} \qquad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

El SCS analizó la relación ente P y Pe para muchas cuencas piloto, encontrando curvas características que son función del tipo de superficie de las cuencas, las cuales han sido estandarizadas mediante la definición del número de curva (CN) tal que 0<CN<100, donde las superficies impermeables presentan un valor de CN=100, debido a que la precipitación que cae sobre esta se convierte en Pe; así mismo, en superficies naturales permeables el valor de CN es CN<100, los cuales pueden verse en la Tabla 4-12 y Tabla 4-13.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Tabla 4-12. Numero de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas sin tratamiento

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

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS

Tabla 4-13. Numero de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas con tratamiento

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

A

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS

En la Tabla 4-13 y Tabla 4-12 se muestra el valor del número de curva CN para 4 grupos hidrológicos de suelo, los cuales de acuerdo con el Manual de Drenaje para Carreteras del Invías corresponden a:

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

A. (Bajo potencial de escorrentía). Suelos que tienen alta tasa de infiltración incluso cuando estén muy húmedos. Consisten en arenas o gravas profundas, bien a excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B. (Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.
C. (Moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o álcalis o suelos con niveles freáticos moderados. Esos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm).
D. (Alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o álcalis y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.

En la Tabla 4-14 se presentan los valores de numero de curva (CN II) para cada uno de los tipos de suelo que se tienen en la cuenca del rio Banadia.

Tabla 4-14. Cobertura vegetal de la zona de proyecto

COBERTURA TIERRA BANADIA

LEYENDA3N	CURVA_SUEL	CN_II_	AREA_HA	Shape_Area
1 2 2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	B	96	65 714166	0 657142
2 3 1 Pastos limpios	B	79	13314 945487	133 149456
2 3 2 Pastos arbolados	B	79	510 093	5 10093
2 3 3 Pastos enmalezados	B	61	295 158383	2 951584
2 4 2 Mosaico de pastos y cultivos	B	79	669 495376	6 694954
2 4 3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	B	69	1188 259898	11 882599
2 4 4 Mosaico de pastos con espacios naturales	B	61	4892 915898	48 929159
3 1 1 Bosque denso	B	55	20040 622434	200 406224
3 1 3 Bosque fragmentado	B	58	6865 265989	68 65266
3 1 4 Bosque de galeria y ripario	B	55	425 973398	4 259734
3 2 1 Herbazal	B	62	328 602167	3 286022
3 2 3 Vegetacion secundaria o en transicion	B	60	1931 647306	19 316473
5 1 1 Rios (50 m)	B	98	2627 423179	26 274232

Fuente: Elaboración propia – Arc Map

Condición de Humedad Antecedente

Obtenido el valor CN, se procede a revisar la condición de humedad antecedente de la cuenca, la cual depende de la precipitación total en los cinco días previos a la tormenta máxima. Dicho lo anterior, se expone en la Tabla 4-15 los niveles de condición de humedad antecedente, donde la condición de humedad antecedente seca (AMC I) tiene el menor potencial de escorrentía, con los suelos estando lo suficientemente secos para un arado satisfactorio o para que una siembra se lleve a cabo; la condición de humedad antecedente promedio (AMC II) tiene un potencial de escorrentía promedio. La condición de humedad antecedente húmeda (AMC III) tiene el mayor potencial de escorrentía, con la hoya hidrográfica prácticamente saturada de precipitaciones anteriores.

Tabla 4-15. Niveles de condiciones de humedad antecedente

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Condición de humedad antecedente (AMC)	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (mm)
I	0 - 36
II	36.1 – 52.5
III	Mas de 52.5

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS

Una vez definida la condición de humedad antecedente, se realiza la corrección del valor CN II a CN I o CN II según corresponda, mediante las expresiones expuestas a continuación, para lo cual la AMC le corresponde la corrección CN (I), AMC III corresponde a la corresponde CN (III) y para la condición AMC II se toma el valor CN sin corrección.

$$CN(I) = \frac{4.2 * CN(II)}{10 - 0.058 * CN(II)} \qquad CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0.13 * CN(II)}$$

A continuación, se presenta la ponderación del Número de curva CN para la cuenca del rio Banadia.

Se toma la condición de humedad antecedente tipo II, debido a las diferentes características topográficas en la cuenca del rio Banadia, donde se generan almacenamientos en diferentes puntos de la misma, con lo cual es inapropiado asumir un valor de CN tipo III, teniendo en cuenta que la escorrentía superficial tiene una alta interacción con los procesos de infiltración a causa de los almacenamientos.

Tabla 4-16. Numero de curva CN – Río Banadia

Área Cuenca (m²)	Uso de suelo	Área cobertura (m²)	Porcent. (%)	CN II	CN II * Porcent.	CN II Pond	CN I	CN III
531561166.8	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	657141.663	0.12%	96	63085599.65	**65.2**	44.1	81.2
	2.3.1. Pastos limpios	133149454.9	25.05%	79	10518806934			
	2.3.2. Pastos arbolados	5100930	0.96%	79	402973470			
	2.3.3. Pastos enmalezados	2951583.835	0.56%	61	180046613.9			
	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	6694953.757	1.26%	79	528901346.8			
	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	11882598.98	2.24%	69	819899329.8			
	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	48929158.98	9.20%	61	2984678698			
	3.1.1. Bosque denso	200406224.3	37.70%	55	11022342339			
	3.1.3. Bosque fragmentado	68652659.89	12.92%	58	3981854274			
	3.1.4. Bosque de galeria y ripario	4259733.976	0.80%	55	234285368.7			
	3.2.1. Herbazal	3286021.674	0.62%	62	203733343.8			
	3.2.3. Vegetacion secundaria o en transicion	19316473.06	3.63%	60	1158988384			
	5.1.1. Rios (50 m)	26274231.79	4.94%	98	2574874716			

Fuente: Elaboración propia

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Factor de Reducción de la Lluvia

En general, la precipitación para una duración determinada o, en otras palabras, la intensidad promedio, decrece desde el centro de las tormentas, a medida que la distancia se incrementa a partir de este punto. La precipitación máxima es representativa del centro de las tormentas, por lo cual la precipitación promedio en la totalidad del área de drenaje deberá ser menor, dependiendo del tamaño y forma de la cuenca, de las tormentas históricas registradas, y de la localización del centro de precipitación máxima.

El cálculo de la reducción de la precipitación a medida que se incrementa el área de drenaje se hace por medio de curvas de profundidad – área – duración para duraciones determinadas de la precipitación. Para cada duración específica de la precipitación se analizan las tormentas que tengan cubrimiento grande sobre el área de drenaje en consideración, y que sean suficientemente intensas. Posteriormente, se dibujan las isolíneas de precipitación de cada tormenta, y por medio de éstas se calculan las curvas de profundidad de precipitación - área de drenaje para cada duración.

La relación entre la profundidad de la precipitación, para diferentes áreas de drenaje, y la precipitación puntual, definida como el factor de reducción, se calcula posteriormente para modificar las curvas anteriores.

Finalmente, se calcula la envolvente de las curvas definidas en el paso anterior para cada duración, la cual define la curva representativa de la relación profundidad de precipitación - área de drenaje de la cuenca. Para la definición de este parámetro se han estudiado tres autores distintos, que presentan ecuaciones en las cuales se relaciona básicamente el área de drenaje y el tiempo de concentración de la cuenca para definir un coeficiente de reducción de la lluvia puntual.

Fórmula de Fhrüling

El coeficiente de reducción de la lluvia por el tamaño del área de drenaje se ha calculado, en primer término, de acuerdo con la ecuación de Fhrüling que expresa:

$$i_m = i_o\, f(a) \quad ; \quad i_m = i_o\,(1 - 0.0054 * A^{0.25})$$

i_m: Intensidad promedio de lluvia en la hoya hidrográfica, mm/h.

i_o: Intensidad de lluvia puntual medida en la estación registradora, mm/h.

$(1\text{-}0.0054\ A^{0.25})$ = Coeficiente de reducción de la lluvia, f(a), por el tamaño del área de drenaje A, estando esta última variable expresada en m².

Formula del Institution of Civil Engineers

Esta metodología fue presentada para Inglaterra por el Institution of Civil Engineers, Proceedings, 2nd Part, "Flood Studies Report", Volume 65, Research and Theory, June 1978, que expresa:

$$i_m = i_o\, f(a) \quad ; \quad i_m = i_o\,(1 - 0.0268 * t_c^{-0.261} * A^{0.387})$$

i_m: Intensidad promedio de lluvia en la hoya hidrográfica, mm/h.

i_o: Intensidad de lluvia puntual medida en la estación registradora, mm/h.

$(1\text{-}0.0268 * t_c^{-0.261} * A^{0.387})$ = Coeficiente de reducción de la lluvia, f(a), por el tamaño del área de drenaje A, estando esta última variable expresada en km² y por el tiempo de concentración de la hoya t_c, expresado en horas.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Fórmula de Norte América

Esta metodología fue desarrollada con datos tomados en los Estados Unidos de forma experimental.

$$i_m = i_o\, f(a) \qquad ; \qquad i_m = i_o\,(1 - 0.05 * t_c{}^{0.361} * A^{0.264})$$

i_m: Intensidad promedio de lluvia en la hoya hidrográfica, mm/h.

i_o: Intensidad de lluvia puntual medida en la estación registradora, mm/h.

$(1\text{-}0.05*tc^{0.361}* A^{0.264})$ = Coeficiente de reducción de la lluvia, f(a), por el tamaño del área de drenaje A, estando esta última variable expresada en km² y por el tiempo de concentración de la hoya tc, expresado en horas.

En la
Tabla 4-17 se muestra el resumen de las características morfométricas de la cuenca en estudio, en la cual se realiza el cálculo de los factores de reducción de lluvias (ver Tabla 4-18).

Tabla 4-17. Características morfométricas de la cuenca del Río Banadía

Hoya	Características morfométricas					
	Área de Drenaje (km²)	Área de Drenaje (m²)	L (km)	S(m/m)	Tiempo de Concentración (Horas)	Tlag (min)
Río Banadia	531.561	531561166.824	51.569	0.061	4.070	146.574

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-18. Factores de reducción de lluvia

Hoya	Factores de reducción de lluvia puntual para las hoyas hidrográficas				
	Fhrüling	Institución of civil engineers	Norteamérica	Factor Adoptado	Estación
Río Banadia	0.18	0.79	1.0000	1	Thiessen

Fuente: Elaboración propia

Modelo Hidrológico HEC-HMS

El cálculo del hidrograma total se realizó considerando el hidrograma unitario afectado por la escorrentía directa o precipitación efectiva en cada duración unitaria del hietograma, el cual se va desplazando tal duración. El hidrograma total resultante es la suma de las ordenadas de los diversos hidrogramas unitarios para cada valor constante de tiempo. Para el presente estudio no se adicionó el caudal base, dado que no se posee información para su obtención y que su porcentaje es mínimo en relación con el caudal pico. Para ello, se usó el modelo de computador HEC-HMS,

A continuación, se presenta una descripción teórica del modelo de computador HEC-HMS:

Descripción Modelo Hidrológico HEC-HMS

Para los trabajos particulares relacionados con estos estudios, se utilizó la versión 4.6.1 del modelo hidrológico HEC-HMS.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Filosofía del Modelo.

El modelo computacional HEC-HMS, ha sido diseñado para simular la escorrentía superficial en una corriente de agua en respuesta a un evento de precipitación como un sistema interconectado de componentes hidrológicas e hidráulicas. Cada componente se modela como un aspecto del proceso precipitación - escorrentía dentro de una porción de la hoya hidrográfica, comúnmente referida como una subhoya; las componentes pueden representarse como una entidad individual de escorrentía superficial, un canal de una corriente, o un embalse. La representación de una componente requiere de un conjunto de parámetros que especifican las características particulares de tal componente y las relaciones matemáticas que describen los procesos físicos que ocurren y la involucran, donde el resultado del proceso de modelación es la determinación de los hidrogramas de creciente en puntos determinados de la hoya hidrográfica.

Componentes del Modelo

Red de Canales

La hoya hidrográfica se subdivide en un sistema interconectado de canales utilizando mapas topográficos y cualquier otra información geográfica que describa las características existentes o proyectadas de la red de drenaje. En primer término, se delimita la hoya hidrográfica, la cual se subdivide posteriormente en un número determinado de subhoyas de acuerdo con sus propias características, determinando el ejercicio anterior el número y tipos de componentes de canales que se usan en el modelo y su interrelación entre ellas.

Componente de Escorrentía Superficial del Terreno

La componente de escorrentía superficial del terreno de las subhoyas se utiliza para representar el movimiento del agua sobre la superficie del terreno y en los canales de las respectivas subhoyas. El dato de entrada a esta componente es el hietograma de precipitación total; la precipitación efectiva que produce escorrentía superficial se calcula substrayendo, al valor de la precipitación total, la infiltración y las pérdidas por detención en el terreno, con base en una función de la tasa de infiltración del agua en el suelo. Para los estimativos anteriores, se supone que la precipitación y la infiltración son uniformes sobre cada una de las subhoyas establecidas.

Estas pérdidas debidas a la intercepción superficial del terreno, almacenamientos en depresiones e infiltración, son denominadas en el modelo computacional HEC-HMS como las pérdidas de la precipitación, las cuales pueden ser estimadas a través de las siguientes metodologías: pérdida inicial y tasa de pérdida uniforme; tasa de pérdida exponencial; método de la curva número CN del Soil Conservation Service, SCS; tasa de pérdida de Holtan y función de infiltración de Green y Ampt.

Los excesos de lluvia efectiva son posteriormente transitados a través de las técnicas del hidrograma unitario o de la onda cinemática a la salida de la subhoya, estimándose el hidrograma de escorrentía respectivo. La técnica del hidrograma unitario produce un

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

hidrograma de escorrentía en el punto más aguas abajo de la subhoya respectiva. Si la ubicación para el cálculo de escorrentía no es apropiada, puede ser necesario subdividir aún más la subhoya o utilizar el método de la onda cinemática para distribuir entradas de caudal localizadas en puntos específicos.

El modelo computacional HEC-HMS tiene en cuenta las siguientes metodologías de hidrogramas unitarios: Clark, Snyder y adimensional del SCS. Para las hoyas hidrográficas en consideración, también por su simplicidad y uso arraigado, se ha tenido en cuenta el método del hidrograma unitario adimensional del SCS, el cual se basa en las características del tiempo de desfase, el cual a su vez se basa en el tiempo de concentración y en el área de drenaje de la subhoya considerada.

La transformación de la lluvia efectiva en escorrentía a través del método de la onda cinemática permite una distribución uniforme de la escorrentía superficial sobre el terreno a lo largo de la longitud del canal principal, esta distribución uniforme de entradas de caudal localizadas es particularmente importante en hoyas hidrográficas, donde muchos canales laterales contribuyen al caudal a lo largo de la longitud del canal principal. La distribución uniforme de escorrentía desde una subhoya se puede obtener utilizando combinaciones de tres elementos conceptuales: áreas de flujo sobre el terreno, canales colectores y un canal principal. La técnica de tránsito de la onda cinemática puede ser utilizada para transitar la lluvia efectiva sobre las áreas de flujo sobre el terreno. Por otro lado, tanto las técnicas de la onda cinemática como la de Muskingum - Cunge pueden ser usadas para transitar crecientes laterales entrantes a un canal colector y aguas arriba de éste, y caudales laterales entrantes a través del canal principal. Sin embargo, las teorías de la onda cinemática y de Muskingum - Cunge para el análisis en los diferentes elementos de los canales no pueden ser entremezcladas.

En esta teoría, el elemento de flujo sobre el terreno es un canal rectangular ancho de base unitaria, en el cual el valor de la rugosidad de Manning ha sido reemplazado por un factor de rugosidad de flujo sobre el terreno. Cuando se aplica la teoría de la onda cinemática a un elemento de flujo sobre el terreno, el caudal lateral entrante es la precipitación efectiva y la salida es un caudal por unidad de ancho. Un elemento de flujo sobre el terreno se describe por medio de cuatro parámetros: su longitud típica de flujo sobre el terreno, su pendiente y factor de rugosidad, y el porcentaje del área de la subhoya representados por estos elementos previos. Un área de flujo sobre el terreno es utilizada para modelar la escorrentía proveniente de usos de tierra permeables y otra área es utilizada para modelar superficies impermeables. La creciente desde los elementos de flujo sobre el terreno viaja hasta la salida de la subhoya a través de uno o dos elementos de canales sucesivos. Un canal se define por su longitud, pendiente, rugosidad, forma, ancho o diámetro, y talud de la sección transversal. El último canal en una subhoya es llamado el canal principal, y cualquier canal intermedio entre los elementos de flujo sobre el terreno y el canal principal es llamado canal colector.

Componente de Tránsito en Canales

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Se utiliza una componente de tránsito del hidrograma de escorrentía en los canales para representar la transformación de la onda de creciente a lo largo de ellos. El dato de entrada a esta componente es un hidrograma de creciente en el punto más aguas arriba, resultante de contribuciones individuales o combinadas de escorrentía de las subhoyas y de su tránsito en canales o embalses. Si se utiliza el método de la onda cinemática, la escorrentía distribuida de los elementos de subhoyas localizadas dentro de la propia subhoya en consideración es también un dato de entrada, el cual se combina con el hidrograma de creciente más aguas arriba mencionado previamente, para ser transitados hasta el final del tramo de canal. El hidrograma es transitado hasta punto más aguas abajo del canal en estudio con base en las características geométricas y de rugosidad de éste.

El tránsito de crecientes es utilizado para simular el movimiento de la onda de creciente a través de tramos de canales y embalses. La mayoría de los métodos de tránsito de crecientes disponibles en el modelo computacional HEC-HMS están basados en la ecuación de continuidad y alguna otra relación entre el caudal y el almacenamiento o el nivel de agua. Los métodos que utiliza este modelo son: Muskingum, Muskingum - Cunge, onda cinemática, Puls modificado, de trabajo R y D, y tránsito de embalse nivel - almacenamiento. En todos estos métodos, el tránsito procede sobre la base de un tramo de canal independiente desde aguas arriba hacia aguas abajo; no se consideran efectos de remanso ni discontinuidades en la superficie del agua tales como resaltos hidráulicos u ondas de creciente de flujo rápidamente variado.
Los métodos de tránsito en embalses del modelo HEC-HMS son los que requieren datos que definen las características del almacenamiento de un tramo de tránsito o embalse. Estos métodos son: Puls modificado, de trabajo R y D y tránsito de embalse de nivel - almacenamiento. También existen dos métodos de tránsito en HEC-HMS que están basados sobre las ordenadas del hidrograma de creciente desfasadas.

Uso Combinado de las Componentes de Tránsito en Canales y Escorrentía Superficial de las Subhoyas

Se puede representar cualquier tipo de conexión de procesos de precipitación - escorrentía en las subhoyas y el tránsito en canales en la hoya hidrográfica en estudio a través de una combinación adecuada de las componentes de escorrentía superficial en las subhoyas y de tránsito en canales. La conexión de las componentes de la red de canales está implicada por el orden en el cual las componentes de los datos están arregladas. La simulación debe siempre comenzar en la parte más aguas arriba de la subhoya considerada en un ramal de la red de canales. La simulación procede hacia aguas abajo hasta que se alcanza la confluencia respectiva. Antes de simular los procesos aguas abajo de una confluencia, todas las crecientes hasta tal confluencia deben ser calculadas y transitadas hasta ese punto.

Componente de Tránsito en Embalses

La utilización de la componente de embalse es similar a la componente del tránsito en canales. La componente de embalse opera recibiendo una creciente aguas arriba de éste

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

y transitando los caudales respectivos entrantes a través del embalse, utilizando métodos de tránsito en embalses. Las metodologías para el tránsito de crecientes en embalses con las cuales trabaja el modelo de computador HEC-HMS fueron explicadas con detalle en la respectiva metodología para el tránsito de crecientes en canales.

Otras Componentes

Aunque no fueron utilizadas en la modelación hidrológica, se mencionan otras componentes del programa de computador HEC-HMS, con el fin de dar una completa descripción de sus capacidades.

Componente de Desviación

La componente de desviación se utiliza para representar desviaciones o bifurcaciones en un canal, o cualquier otra transferencia de flujo de un punto a otro punto dentro o fuera de la hoya hidrográfica.

Componente de Bombeo

La componente de bombeo puede ser utilizada para simular la acción de plantas de bombeo utilizadas para elevar la escorrentía desde áreas de pondaje baja.

Transformación de Hidrogramas

La opción de transformación de hidrogramas da capacidad para alterar los hidrogramas de creciente basados en el criterio definido por el usuario.

4.5.2. Aplicación de las teorías y métodos de predicción

Hietogramas de los Aguaceros Puntuales

Con base en las curvas intensidad – duración – frecuencia, fueron calculadas las curvas de masas de los aguaceros puntuales para duraciones entre 0 y 180 minutos y periodos de retorno entre 2 y 200 años.

Para dar una secuencia más crítica del aguacero, como es usual en este tipo de análisis, mediante el método del Bloque Alterno, los incrementos de lluvia de los hietogramas mencionados previamente fueron arreglados de la siguiente manera: el valor más bajo se colocó en el primer lugar, el segundo valor en orden creciente se colocó en último lugar, el tercer valor en tal orden se ubicó en segundo lugar, el cuarto valor se localizó en el penúltimo lugar, y así sucesivamente, los cuales se presentan también en el ¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia..

Hietogramas de los Aguaceros Espaciales

Los hietogramas de lluvia puntual fueron transformados a hietogramas de lluvia espacial, para tener en cuenta el hecho de la espacialidad de la hoya y de que la precipitación promedio de un aguacero en una hoya es menor a medida que aumenta su área de drenaje. El coeficiente de reducción de la lluvia por el tamaño del área de drenaje se ha calculado, como ya fue mencionado anteriormente, con el fin de tener un valor más seguro y

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

conservador en relación con este coeficiente, igual al valor máximo entre los valores calculados anteriormente.

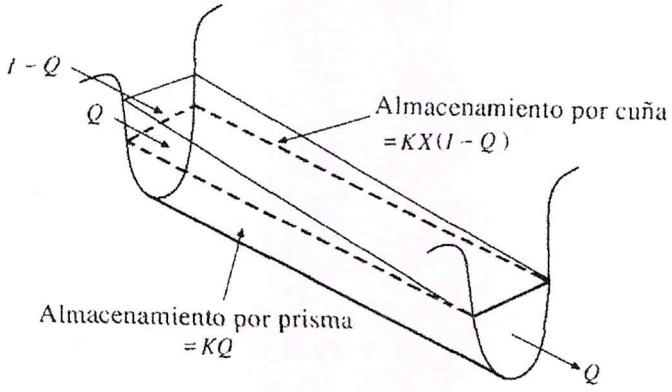
Cálculo de caudales para las cuencas mayores

La estimación de caudales se realizó por el método del Hidrograma Unitario del SCS, con el software HEC HMS. Los archivos de cálculo se adjuntan.

Para el caso específico el método a implementar modela el almacenamiento de un cauce mediante la combinación de dos tipos de almacenamiento:

- Almacenamiento prismático: Formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo del cauce prismático.
- Almacenamiento en cuña: formado bien sea por la diferencia entre los caudales de entrada y salida, o por la pendiente de la lámina de agua en el tramo considerado.

Figura 4-16. Tipos de almacenamiento en cauces



Fuente: Chow, V. – Maidment, D. - Mays, L, 1994

Durante el avance de la onda de creciente el caudal de entrada es mayor que el caudal de salida, siendo un almacenamiento de cuña positiva, y durante la recesión el caudal de salida es mayor que el caudal de entrada resultando en una cuña negativa.

La estimación del parámetro K (tiempo de viaje de la onda cinemática) se realiza considerando que la celeridad de la onda cinemática (Cx) es 5/3 la velocidad del cauce, y K es equivalente a la relación ente la longitud del cauce y Cx, dando como resultado que el parámetro K puede estimarse como 3/5 del tiempo de concentración, como se muestra a continuación.

$$C_x = \frac{5}{3} * \bar{V} = \frac{5}{3} * \frac{\Delta_x}{T_c} \qquad K = \frac{\Delta_x}{C_x} = \frac{\Delta_x}{\frac{5}{3} * \frac{\Delta_x}{T_c}} = \frac{3}{5} * T_c$$

Por otra parte, el parámetro X mide la importancia entre entradas y salidas, variando en un rango entre 0 y 0.5, siendo 0 el valor de atenuación máxima donde no existe cuña, no hay curva de remanso y el almacenamiento será de tipo embalse; mientras que con X igual a

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

0.5 solo hay desplazamiento, donde la cuña está completamente desarrollada y no existiría atenuación alguna del pico. Dicho lo anterior, es posible categorizar el parámetro X como 0 para cauces caudalosos y de baja pendientes; así mismo, se determina un valor de X cercano a 0.5 para cauces más pendientes y de menos caudal.

Para el caso específico del proyecto se ha utilizado un valor X igual a 0.2, el cual es el comúnmente utilizado. Para corrientes naturales dicho valor se encuentra entre 0 y 0.3, con un valor medio cercano a 0.2.

Caudales estimados para cuencas mayores

En la Tabla 4-19 se presentan los resultados de caudales, para diferentes periodos de retorno, para las cuencas de tamaño mayor a 2.5km^2, estimados con el programa HEC-HMS.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

Tabla 4-19. Caudales estimados cuencas mayores

Hoya	Área Cuenca (km²)	Longitud del Cauce (km)	Pendiente (m/m)	Tiempo de Concent. (min) / Kirpich (h)	T_{LAG} (min)	Factor de Lluvia Espacial Adoptado	Estación	CN Adoptado	Parámetros Muskingum		Caudal (m^3/s)					
									K	X	T= 2 Años	T= 5 Años	T= 10 Años	T= 20 Años	T= 50 Años	T= 100 Años
Río Banadia	531.5611668	51.569	0.061	4.070	146.574	1	Thiessen	65	3.33	0.2	674.6	907	1037.5	1175.2	1362.9	1486.5

Fuente: Elaboración propia

Para la definición de las solicitaciones hidro-meteorológicas extremas asociadas a la subcuenca alta bajo análisis, se adoptan como anclaje y pivote hidrológico los resultados validados en el estudio antecedente denominado *"CONSTRUCCIÒN DE OBRAS DE PROTECCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO Y PREVENCIÓN DE INUNDACIONES SOBRE EL RIO BANADIA EN EL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA"*.

La utilización de dicho estudio como base de transferencia de información se encuentra plenamente sustentada bajo los criterios de homogeneidad hidrológica, geológica y geomorfológica que rigen la cuenca del Río Banadías en el piedemonte araucano. El sector crítico de Barrancones, ubicado aguas abajo del punto de interés actual, comparte el mismo eje fluvial principal, idéntico régimen de precipitaciones (influenciado por el efecto orográfico de la cordillera Oriental sobre la macro-cuenca del Orinoco) y características morfológicas similares de alta energía, clasificadas en la transición de un sistema trenzado (*braided*) a un meandro dinámico. Por tanto, las series de frecuencia analizadas y validadas en el informe base reflejan con precisión la realidad hidrológica regional ante la ausencia de estaciones limnigráficas directas en el punto de captación o cierre de la cuenca alta.

De acuerdo con las buenas prácticas de la ingeniería hidrológica y las directrices técnicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), cuando se dispone de un punto de control con datos hidrológicos robustos o estudios consolidados en el mismo curso de agua, es factible y técnicamente riguroso transferir los caudales máximos hacia subcuencas anidadas mediante la metodología de **Transposición de Caudales basada en Relaciones de Área**.

Esta formulación asume que los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno (Tr) son directamente proporcionales a las características geométricas de la cuenca aportante, corregidas por un exponente potencial que absorbe los efectos de amortiguamiento, la forma de la cuenca y el tiempo de concentración regional. La ecuación gobernante se expresa como:

$$Q_{up} = Q_{down} \cdot \left(\frac{A_{up}}{A_{down}} \right)^{b}$$

Qup: Caudal máximo estimado en el punto de interés (área de estudio aguas arriba), en m3/s.
Q_{down}: Caudal máximo de referencia determinado en el estudio base de Banadias
A_{up}: Área de la cuenca aportante hasta el punto de interés, fijada cartográficamente en **220.45 km²**.
A_{down}: Área de la cuenca total acumulada hasta la sección de control del sector Barranconess (aguas abajo), en **km²**
b: Exponente de regionalización hidrológica. Para el piedemonte llanero y cuencas con alta pendiente expuestas a regímenes torrenciales, la literatura técnica colombiana e internacional (USACE) valida la adopción de un exponente potencial generalizado de b = 0.75, el cual penaliza la contribución unitaria a medida que el área aumenta, modelando de forma conservadora la respuesta hidrológica de la cuenca alta.

Para garantizar la coherencia del modelo frente al Decreto 1807 de 2014 (incorporado en los Planes de Ordenamiento Territorial para la delimitación de amenazas por inundación) y el Título D del RAS, se aplicó la transposición de forma sistemática a toda la curva de distribución de frecuencias del río. Los factores de escala regional derivados de la distribución de valores extremos Tipo I (Gumbel), calibrada originalmente en el estudio de Barranconess, se proyectaron sobre la cuenca alta de 220.45 km².

Tabla 4-20. Caudales cuenca Banadias sector Barrancones

Periodo de Retorno (Tr)	Factor de Frecuencia (XT/X100)	Caudal Estimado (Q)	Unidad
2.33 años	0.38	452.36	m3/s
5 años	0.51	607.12	m3/s
10 años	0.64	761.88	m3/s

Periodo de Retorno (Tr)	Factor de Frecuencia (XT/X100)	Caudal Estimado (Q)	Unidad
25 años	0.79	940.44	m3/s
50 años	0.91	1083.29	m3/s
100 años	1	1190.43	m3/s

Fuente: Elaboración propia

El acoplamiento de estos caudales transposicionados en los modelos hidráulicos bidimensionales o unidimensionales subsiguientes garantiza que los parámetros de salida (velocidades medias, esfuerzos cortantes zonales y profundidades de socavación general por el método de Lischtvan-Lebediev) sean totalmente reproducibles, consistentes y defendibles ante los entes de control ambiental y fiscal del territorio nacional.

5. ESTUDIO HIDRÁULICO

5.1. Geomorfología Regional

Fisiográficamente el área de estudio corresponde a zonas de transición entre la cordillera y los llanos orientales, por lo cual se genera un contraste de topografía que forma unidades geomorfológicas con diferentes.

Dentro de la información cartográfica recolectada se identificó 3 ambientes morfogenéticos; dentro de los cuales los ambientes estructural y fluvial son los que predominan y en menor proporción el ambiente glaciar.

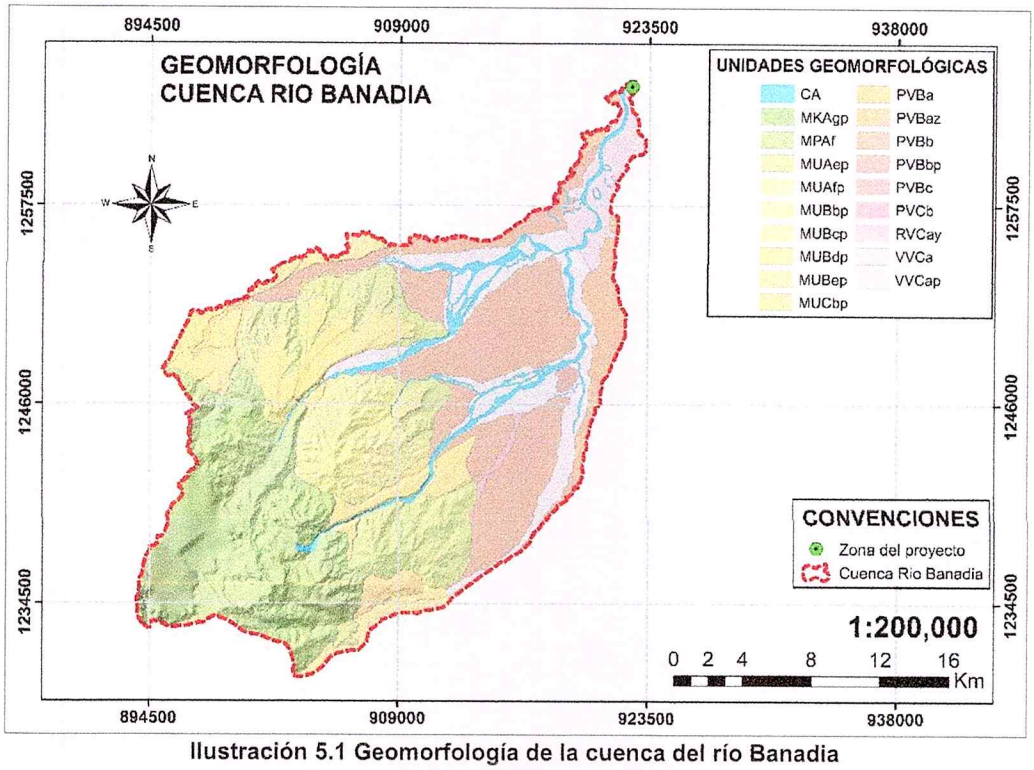


Ilustración 5.1 Geomorfología de la cuenca del río Banadia
Fuente: Elaboración propia - ArcMap

5.1.1. Geoformas de origen fluvial.

Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre.
El agua ha sido el factor determinante que dio origen a las geoformas que ocupan gran parte de la geomorfología de la zona ya que transportó y depositó el material generado

durante la orogenia Andina en la cordillera Oriental. Este ambiente da origen a las geo formas que se presentan a continuación:

- **Abanico aluvial (Faa)**
  El origen de esta geoforma está ligado a la orogenia Andina durante la cual las corrientes provenientes de valles estrechos en las montañas pasaron a una zona plana donde depositaron el material que transportaban. Los abanicos tienen relieve plano con laderas levemente inclinadas en la dirección de la corriente, estas son extremadamente largas y rectas, de forma plana. Ocasionalmente son cortadas por drenajes subparalelos muy largos y de baja densidad. La expresión geomorfológica de los abanicos permite trazarlos como si pertenecieran a un mismo evento.

- **Terraza de acumulación (Fta)**
  Estas geoformas presentan relieve plano a levemente ondulado y pueden ocurrir a diferentes alturas permitiendo deducir los periodos de ascenso y descenso de los cauces.

- **Llanura de inundación (Fli)**
  Se caracteriza por ser una zona plana, con un contraste de relieve muy bajo, se diferencia de la planicie de inundación en que en esta unidad no se da actualmente la deposición de material transportado por los ríos que recorren la plancha, aunque puede estar sometida a inundaciones en épocas de alta pluviosidad.

- **Planicie de inundación (Fpi)**
  Corresponde al área que han ganado los drenajes actuales y que se ubica a ambos lados de los mismos. Esta puede extenderse según el nivel del agua y en ella se acumula el material transportado por los ríos que recorren la plancha. Las planicies más importantes en la zona son las asociadas al río Arauca

5.1.2. Geoformas de origen estructural

Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades. Este proceso de compresión genera varias geoformas plegadas que se ubican en este ambiente, como son pliegue anticlinal, estructural plegado y estructural plegado denudado. Se identificaron las siguientes unidades:

- **Estructural plegado (sp)**
  La zona centro-occidental muestra rocas sedimentarias plegadas de las formaciones Diablo, Caja y La Corneta. La alineación de estas unidades corresponde con la estratificación que es el resultado de los esfuerzos que han actuado en esta región.

- **Estructural plegado denudado (Spd)**
  Una última porción de las montañas de la Cordillera Oriental se identifica en el sector suroeste. Allí se puede reconocer un relieve de montañas de contraste extremadamente alto, laderas abruptas e inclinadas muy largas y extremadamente largas. Se observa un drenaje dendrítico, pero con tramos alineados debido a los controles estructurales, la densidad de la red de drenaje es moderada y los cauces principales corren por valles en V.

5.1.3. Geoformas de origen glacial

Las unidades del ambiente glacial fueron generadas por la acumulación y posterior desplazamiento de grandes masas de hielo, las cuales exoraron erosionaron la roca remodelando el paisaje preexistente, dejó huellas en el terreno que pueden reconocerse hoy en día, las áreas afectadas por este proceso se clasifican dentro de este ambiente morfogenético. Se identificaron las siguientes unidades:

- **Superficie de erosión glaciar (Gseg)**
  Al interior de unidad Estructural plegado denudado (Spd) pueden encontrarse sitios puntuales con paisajes glaciares heredados (B1, D1-E1, C3-C4, E5, G3) que se caracterizan por tener cimas redondeadas a subredondeadas con valles amplios y lisos en forma de U; es común encontrar depósitos coluviales y de talus en las laderas, formados por fenómenos de gelifracción.

5.2. Análisis Multitemporal del Sector

Para que un río se comporte en forma estable o inestable, normalmente intervienen una serie de factores. Entre los factores hidro geomorfológicos que se destacan, están las características hidráulicas propias del río (sedimentos, pendientes, secciones y caudales, entre otros) y el comportamiento hidrológico de la cuenca de aporte. Además, y de manera determinante, para que se produzca la inestabilización de los cauces, intervienen factores que tienen que ver con el grado de afectación antrópica que ha sufrido la cuenca de aporte y el tramo del río en análisis.

Entre los impactos antrópicos a los ríos, se destacan la destrucción de la vegetación ribereña, la utilización de terrazas bajas, la extracción de áridos en el cauce, la modificación de barrancas o márgenes con obras de protección o rigidización, como así también la construcción de obras civiles, con sus correspondientes obras complementarias (canalizaciones, albardones u otras).
El análisis multitemporal permitió determinar que, en el transcurso de los últimos 8 años, el tramo del río en análisis ha tenido modificaciones en planta, el procesamiento de imágenes satelitales a diferentes años (2016, 2018, 2023,) se analizó mediante el Software ArcMap 10.8, en donde se crearon las diferentes capas vectoriales de las geoformas asociadas al

sistema del río objeto en estudio, delimitando principalmente, bancos de arena, y cauce del río para cada una de las imágenes.

El análisis multitemporal permite inferir la dinámica del río en cada régimen de lluvias evidenciándose la divagación del cauce, la erosión lateral en las bancas y la creación de terrazas e islas en las épocas de inundación que crecen por deposición de materiales.
A continuación, se representan la variación del cauce en la zona de estudio en los diferentes años de análisis:

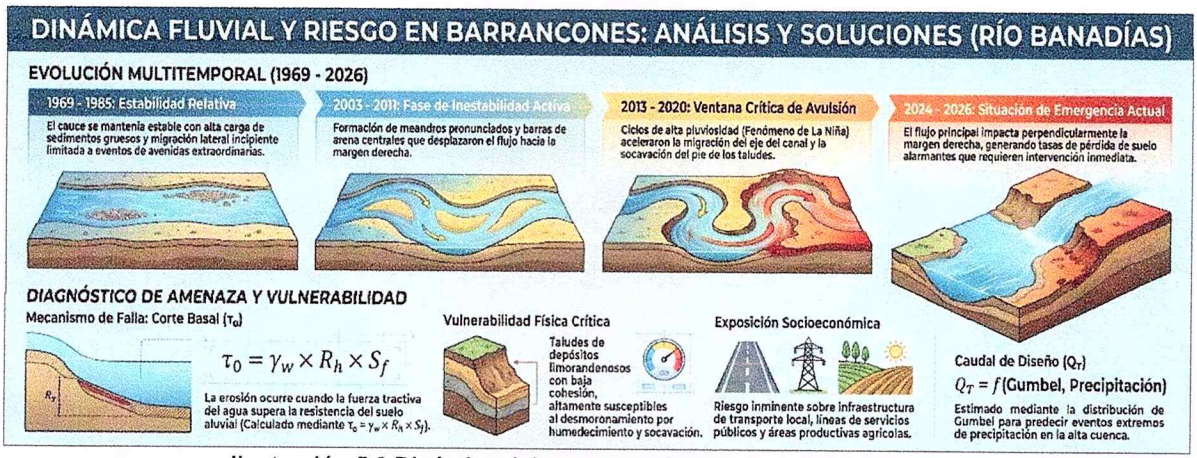
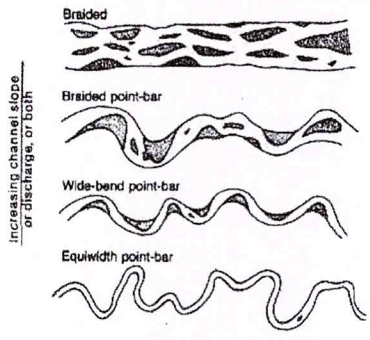


Ilustración 5.2 Dinámica del curso del río Banadia (2016-2024)
Fuente: Elaboración propia

5.3. Dinámica fluvial

El Río Banadia, a la altura de la vereda Barranconess en Saravena presenta tendencia al serpenteo y formación de barras; para su clasificación, en este caso visual, se seleccionó el método de Howard Chang que establece funciones apropiadas para diferentes tipos de cauce basándose en los esquemas de Brice & Blodgett.

Ilustración 5.3. Clasificación de Tipos de Cauces



Classification of Channel Types [After Brice and Blodgett (2)]

Fuente: Esquemas de Brice&Blodgett.

. Brice clasifica las corrientes en cuatro categorías:

- Trenzado (Braided): Ríos anchos con varios canales, pendientes bajas.
- Levemente trenzados (Braided point bar): Con un poco más curvas, barras de sedimento. Canales un poco más definidos.
- Meándrico con barras (Wide-bend point bar): Curvas más pronunciadas, canales un poco más cerrados, un solo canal y barras.
- Meándrico sin barras (Equiwidth point bar): Múltiples curvas, un solo canal, sin barras de sedimentos. Es el caso de las corrientes pequeñas de la zona.

Dicho lo anterior, se concluye que el cauce de la zona bajo estudio presenta las condiciones geomorfológicas de un río levente trenzado.

5.4. Modelo HEC RAS

El programa HEC-RAS fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros Militares de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center), para simular la hidráulica del flujo para canales de cualquier tipo de sección transversal, bajo flujo gradualmente variado, trabajando de acuerdo con la ecuación de Bernoulli:

$$Z1 + Y1 + (V_1^2/2g) = Z2 + Y2 + (V_2^2/2g) + h$$

Dónde:

Z: Nivel del fondo del canal aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, en m. Cabeza de posición.

Y: Lámina de agua aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, en m. Cabeza de presión.

V2/2g: Cabeza de velocidad aguas arriba (1) y abajo del tramo (2), en m.

h: Pérdidas de energía en el tramo, en m. Pérdidas por fricción y localizadas.

Las pérdidas por fricción se pueden expresar por medio de la ecuación de Manning:

$$hf = ((Se_1 + Se_2)/2)\, L$$

Dónde:

hf: Pérdidas por fricción, en m.

L: Longitud del tramo entre el punto 1 y el punto 2, en m.

Se: Pendiente de la línea de energía aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo.

$$Se = (n^2V^2/R^{4/3})$$

Dónde:

n: Coeficiente de rugosidad de Manning, definido en cada caso de acuerdo con la condición del cauce, apreciada por el Especialista Hidráulico.

V: Velocidad promedio del agua, en m/s.

R: Radio hidráulico, en m. Área hidráulica dividida entre el perímetro mojado.

Las pérdidas localizadas en un punto del canal se expresan mediante la siguiente ecuación:

$$hl = K \ ABS \ \{(V_1^2/2g) - (V_2^2/2g)\}$$

Dónde:

K: Coeficiente de pérdidas localizadas, adimensional.
V: Velocidad promedio aguas arriba (1) y aguas abajo (2) del punto, en m/s.
ABS: Valor absoluto del término.

Los datos de entrada para la modelación corresponden a la información geométrica del cauce y de las estructuras ubicadas dentro de cauce, y a la información hidrológica.
Los coeficientes de pérdidas localizadas por contracción y expansión se definen igual a 0.30 y 0.50 para cada estructura, y 0.1 y 0.3 para las secciones transversales.

Los coeficientes de rugosidad de Manning se definen con base en el tamaño de partículas y la conformación de las barras observadas en cada cauce, según criterio del Especialista Hidráulico.
Como condición de frontera aguas abajo se considera el escenario más adecuado, teniendo en cuenta las características hidráulicas observadas en campo, según criterio del Especialista Hidráulico.

Es importante aclarar que todos los modelos son una aproximación, por lo que la obtención de resultados acertados depende de la calidad de los datos de entrada y del buen criterio del ingeniero que realiza el análisis.

5.5. Rugosidad del Cauce

Para la definición del coeficiente de rugosidad de Manning se emplea el método de Cowan según las características del cauce, en donde sus resultados son corroborados como reales y confiables por parte del Especialista Hidráulico.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * n_5$$

Dónde:

n: Valor de rugosidad de Manning
no: Rugosidad del material del cauce.
n1: Irregularidades en la superficie.
n2: Cambios de forma y tamaño de la sección.
n3: Obstrucciones.
n4: Vegetación y condiciones de flujo.
n5: Estructura de los meandros.

A continuación, en la Tabla 5-1 presentan valores típicos para cada uno de los anteriores parámetros.

Tabla 5-1. Valores de rugosidad - Método de Cowan

CONDICIONES DEL CANAL			VALORES
Material involucrado	Tierra	η0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	η1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	η2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.0015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	η3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	η4	0.005-0.01
	Media		0.01-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandro	Menor	η5	1.00
	Apreciable		1.15
	Severo		1.30

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS

A partir de la anterior relación fueron definidos los coeficientes de Manning para el modelo hidráulico del Río Banadia, los cuales se presentan en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2. Rugosidad de Manning de corrientes en estudio

Sector	Condición del canal						
	Material involucrado	Grado de irregularidad	Variaciones de la sección transversal	Efecto relativo de las obstrucciones	Vegetación	Grado de los efectos por meandro	Coeficiente de Rugosidad
	η0	η1	η2	η3	η4	η5	η
Banca izquierda	Grava fina	Menor	Ocasionalmente alternante	Menor	Media	Severo	0.083
	0.024	0.005	0.005	0.0125	0.0175	1.3	
Cauce principal	Grava fina	Menor	Gradual	Insignificante	Baja	Menor	0.037
	0.024	0.005	0	0	0.0075	1	
Banca derecha	Grava fina	Menor	Ocasionalmente alternante	Apreciable	Media	Apreciable	0.088
	0.024	0.005	0.005	0.025	0.0175	1.15	

Fuente: Elaboración propia

5.6. MODELACIÓN HIDRÁULICA CONDICIONES ACTUALES

El análisis del comportamiento de las principales variables climatológicas en el sector de estudio se realiza con base a las estaciones climatológicas del IDEAM aferentes a la zona de proyecto., las cuales se presentan en los siguientes consecutivos, a excepción de la precipitación que merece un capítulo especial en el documento por su importancia para la estimación de los caudales mediante los modelos lluvia escorrentía.

El río Banadia cuenta con un área aferente de drenaje de 220.45 km^2, donde el uso de suelo de la cuenca se encuentra conformado principalmente por combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles. De acuerdo con las condiciones mencionadas se estima un caudal pico para un periodo de retorno de 100 años del orden de 1190.43m^3/s.

De acuerdo con las imágenes del rio en la vereda Barranconess, junto con la visita del especialista y concepto del especialista hidráulico, se tiene que el lecho del río está compuesto en su mayoría por arenas y grabas finas como se logra observar en la Figura 5-1.

Figura 5-1. Río Banadia a la altura del sector Barrancones

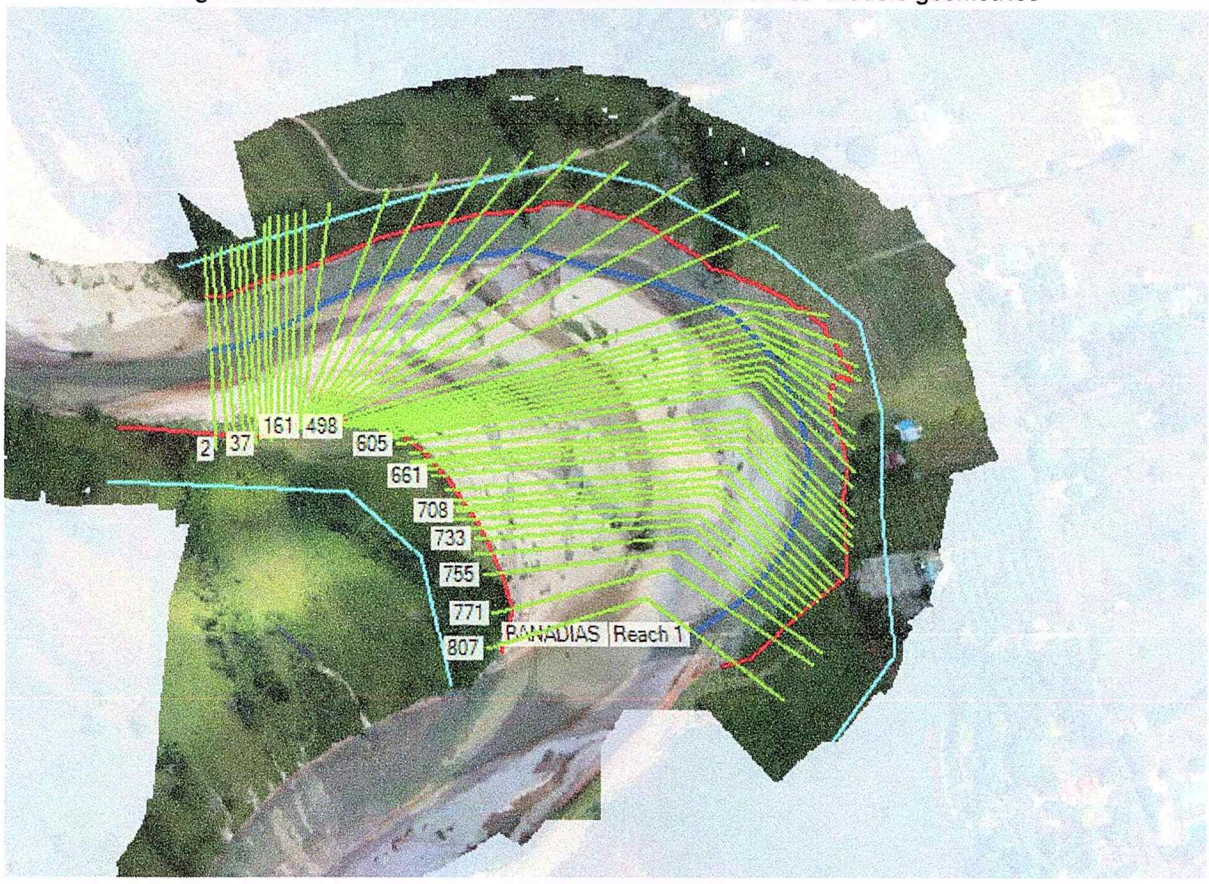


Fuente: Propia

Se adelantó la modelación hidráulica de la corriente, utilizando el programa Hec-Ras, esto en función de revisar el impacto de la lámina de agua sobre las llanuras de inundación.
Como se presentó en la Tabla 5-2, se adoptó como coeficiente de rugosidad de Manning, para el cauce principal un valor de 0.037, para la banca izquierda 0.083 y para la banca derecha un valor de 0.088.

Se adoptó como condición de frontera aguas arriba y aguas abajo la profundidad CRITICA teniendo en cuenta la pendiente media del cauce (1.01%), dicho modelo hidráulico ha sido corrido con régimen mixto, dado a las condiciones variable que presenta un flujo en cauces naturales.

Figura 5-2. Río Banadia a la altura del sector Barrancones- Modelo geométrico

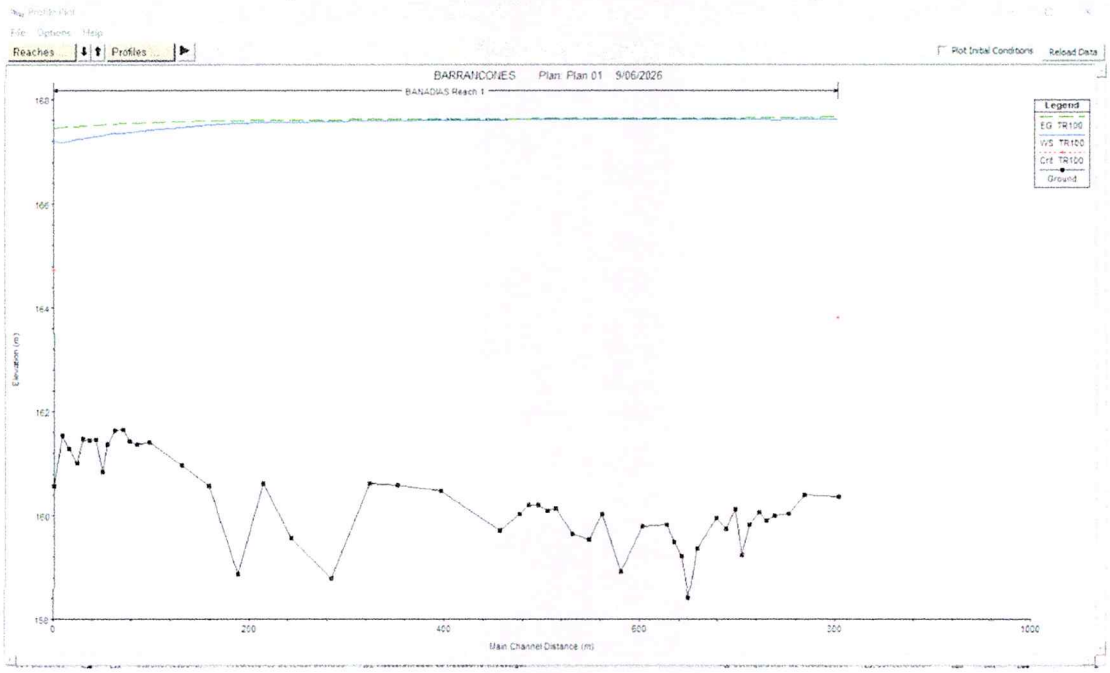


Fuente: Software Hec-Ras

En la Figura 5-3 se muestra la lámina de agua esperada en perfil longitudinal a lo largo del Río BANADIA en la zona de estudio.

De acuerdo con los análisis, actualmente no se tiene la capacidad suficiente para el paso de la creciente estimada para un periodo de recurrencia de 100 años.

Figura 5-3. Río BANADIA– Perfil de la lámina de agua



Fuente: Software Hec-Ras

En la Figura 5-4 y Figura 5-5 se presentan los parámetros hidráulicos estimados a la altura del meandro con fuerte tendencia a laterización del cauce aguas arriba y aguas abajo respectivamente.

Figura 5-4. Río BANADIA– Parámetros hidráulicos meandro aguas arriba

Cross Section Output

File Type Options Help

River: BANADIAS Profile: TR100

Reach: Reach 1 RS: 701 Plan: 01

Plan: 01 BANADIAS Reach 1 RS: 701 Profile: TR100

E.G. Elev (m)	167.64	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.02	Wt. n-Val.	0.083	0.037	0.087
W.S. Elev (m)	167.62	Reach Len. (m)	8.60	8.60	8.60
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	36.69	1716.02	2.72
E.G. Slope (m/m)	0.000081	Area (m2)	36.69	1716.02	2.72
Q Total (m3/s)	1190.43	Flow (m3/s)	6.67	1183.59	0.16
Top Width (m)	360.80	Top Width (m)	12.80	347.50	0.50
Vel Total (m/s)	0.68	Avg. Vel. (m/s)	0.18	0.69	0.06
Max Chl Dpth (m)	7.49	Hydr. Depth (m)	2.87	4.94	5.44
Conv. Total (m3/s)	132558.9	Conv. (m3/s)	743.3	131797.3	18.4
Length Wtd. (m)	8.60	Wetted Per. (m)	16.83	358.21	6.04
Min Ch El (m)	160.13	Shear (N/m2)	1.72	3.79	0.36
Alpha	1.03	Stream Power (N/m s)	0.31	2.61	0.02
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)	13.45	1039.47	36.54
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	5.67	206.93	13.48

Fuente: Software Hec-Ras

Figura 5-5. Río BANADIA– Parámetros hidráulicos meandro aguas abajo

Cross Section Output

File Type Options Help

River: BANADIAS Profile: TR 100

Reach Reach 1 RS: 37 Plan: 01

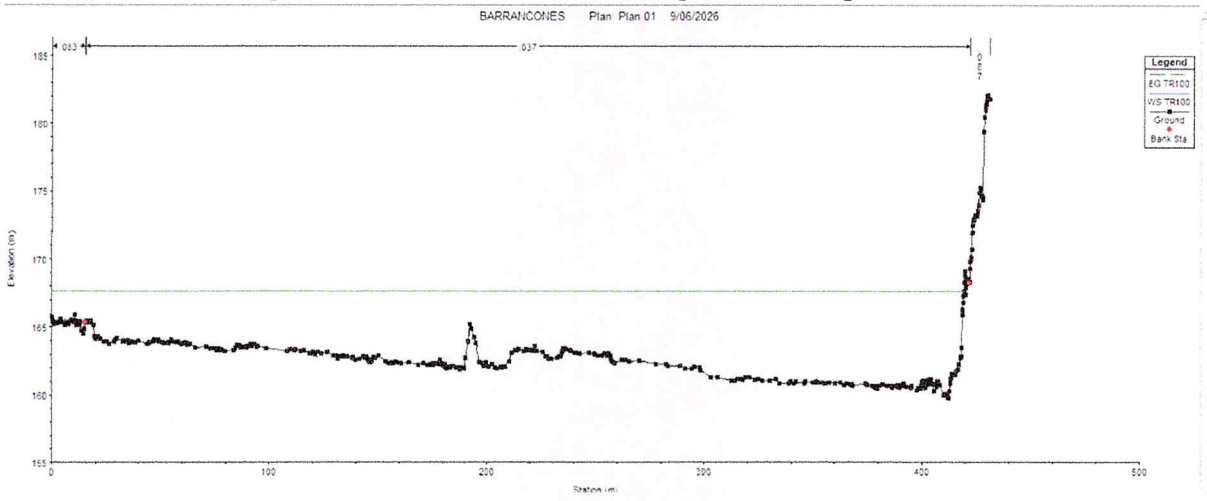
Plan: 01 BANADIAS Reach 1 RS: 37 Profile: TR 100

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	167.50	Wt. n-Val.	0.083	0.037	0.087
Vel Head (m)	0.23	Reach Len. (m)	15.00	6.20	15.00
W.S. Elev (m)	167.27	Flow Area (m2)	12.42	546.31	39.84
Crit W.S. (m)		Area (m2)	12.42	546.31	39.84
E.G. Slope (m/m)	0.000942	Flow (m3/s)	5.79	1168.98	15.66
Q Total (m3/s)	1190.43	Top Width (m)	6.40	127.21	24.33
Top Width (m)	157.94	Avg. Vel. (m/s)	0.47	2.14	0.39
Vel Total (m/s)	1.99	Hydr. Depth (m)	1.94	4.29	1.64
Max Chl Dpth (m)	5.83	Conv. (m3/s)	188.6	38081.9	510.2
Conv. Total (m3/s)	38780.7	Wetted Per. (m)	8.78	131.89	37.12
Length Wtd. (m)	6.37	Shear (N/m2)	13.07	38.27	9.92
Min Ch El (m)	161.44	Stream Power (N/m s)	6.09	81.90	3.90
Alpha	1.14	Cum Volume (1000 m3)	0.85	18.11	3.80
Frctn Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.60	4.22	1.28
C & E Loss (m)	0.00				

Fuente: Software Hec-Ras

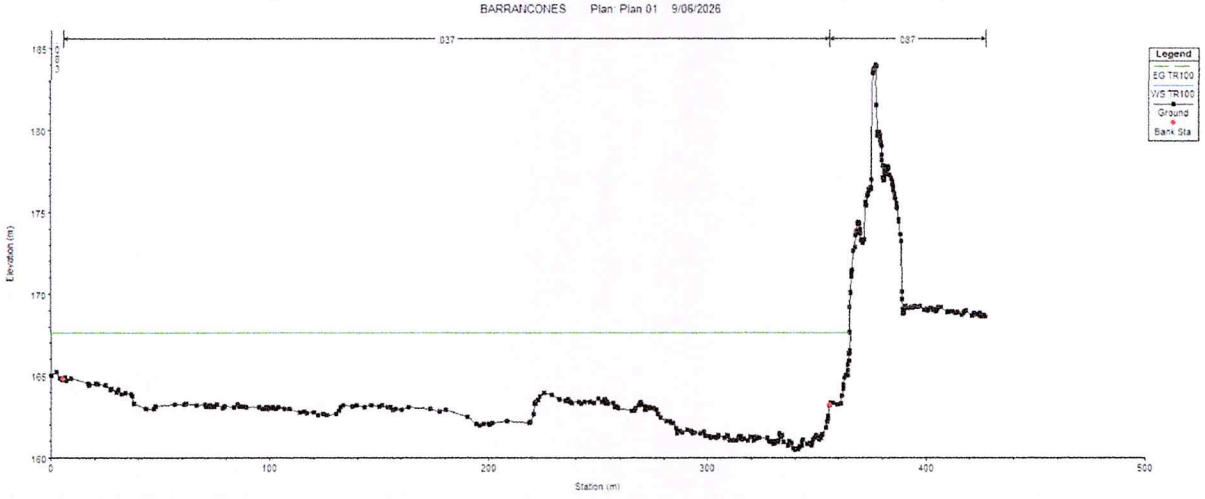
En la Figura 5-6 y Figura 5-7 se muestra la sección transversal de la cara de aguas arriba de la estructura. Se adjuntan los reportes de la modelación y los archivos magnéticos.

Figura 5-6. Río BANADIA– Lámina de agua meandro aguas arriba



Fuente: Software Hec-Ras

Figura 5-7. Río BANADIA– Lámina de agua meandro aguas abajo



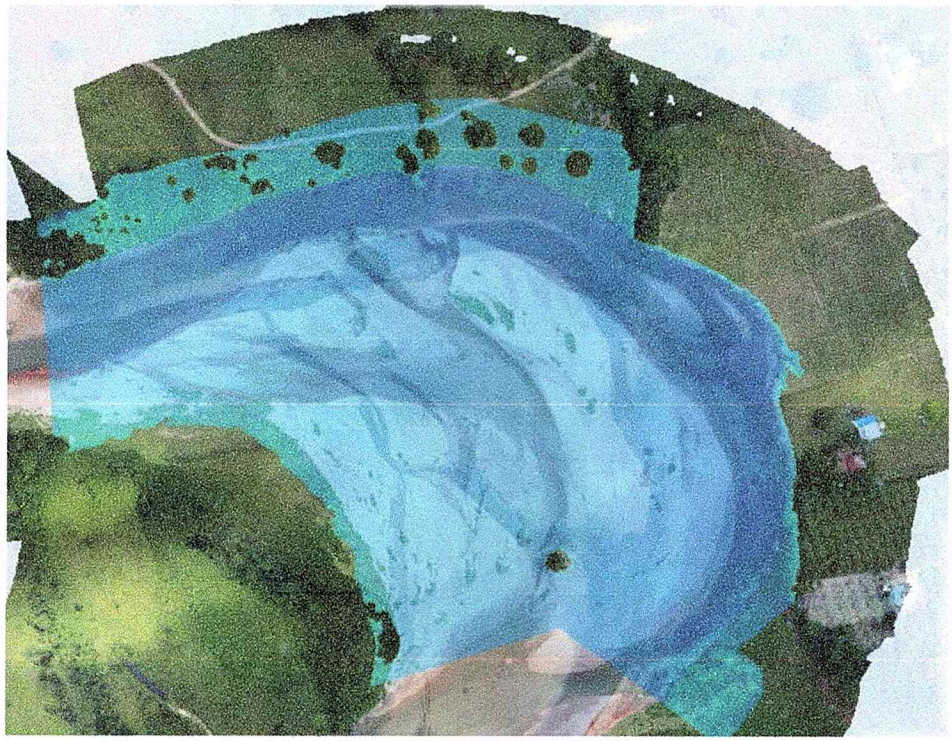
Fuente: Software Hec-Ras

En la Figura 5-8 se muestra la mancha de inundación donde se simula el movimiento del agua en la zona correspondiente al Barrancones que presenta erosión basal, teniendo en cuenta la topografía, la rugosidad del terreno y las estructuras hidráulicas existentes se evidencia una tendencia del cauce hacia la margen derecha.

El modelo hidráulico desarrollado y presentado en la Figura 5-8 se pueden apreciar la y profundidad estimada de las inundaciones para un evento hidrológico en un periodo de retorno de 100 años.

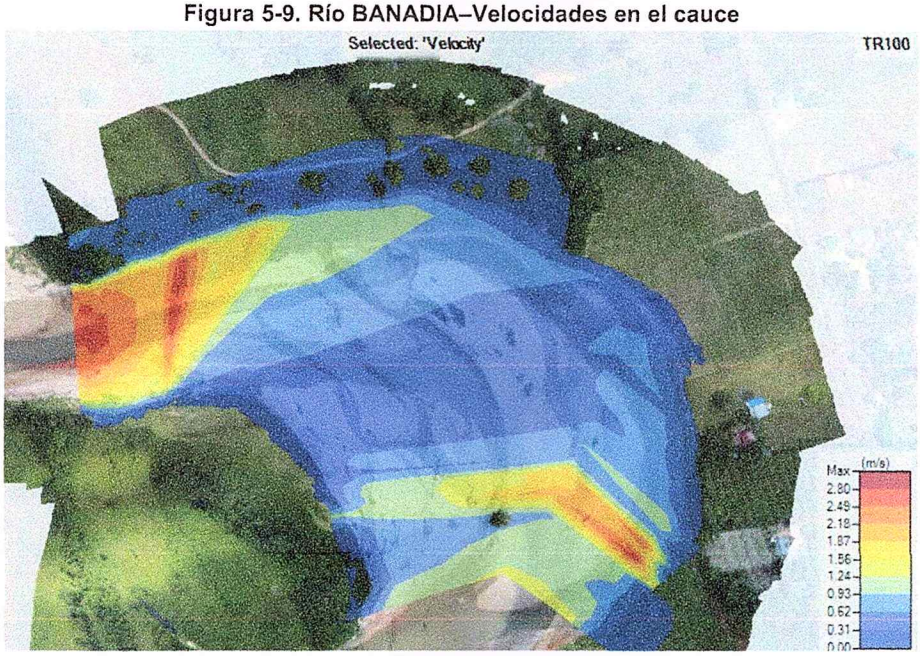
La Figura 5-9 muestra la distribución de velocidades en el cauce, se aprecia la laterización del cauce hacia la margen derecha donde se predicen velocidades de hasta 2.5m/s con lo cual es apremiante controlar estas velocidades debido a ser una variable en la erosión; las altas velocidades del agua están **erosionando la orilla derecha del río**, traducido a la problemática actual con desprendimientos de tierra, hundimientos, erosión basal del talud e incluso cambios en el curso del río.

Figura 5-8. Río BANADIA–Mancha de inundación



Fuente: Software Hec-Ras

Figura 5-9. Río BANADIA–Velocidades en el cauce



Fuente: Software Hec-Ras

5.7. OBRAS HIDRÁULICAS PROPUESTAS PARA MITIGAR EL RIESGO DE INUNDACIÓN

5.7.1. MUROS RÍGIDOS

Son estructuras rígidas, generalmente de concreto, las cuales no permiten deformaciones importantes sin romperse. Se apoyan sobre suelos competentes para transmitir fuerzas de su cimentación al cuerpo del muro y de esta forma generar fuerzas de contención.

En la Tabla 5-3. se presenta un resumen de las ventajas y desventajas, analizando la Tabla 5-3. y extrapolando para el sector del Barranconess se puede afirmar que esta solución es inviable debido a la necesidad de tener un suelo competente para esto se requiere de realizar una campaña geotécnica rigurosa conjugada con estudios geológicos y morfológicos que determinen el mejor emplazamiento, desde la óptica de la ingenieria estructural se requieren de sistemas de cimentación profunda lo cual se traduce en altos costos de tal manera que esta alternativa es desechada.

Tabla 5-3. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muros rígidos

Muro	Ventajas	Desventajas
Reforzado	Los muros de concreto armado pueden emplearse en alturas grandes (superiores a diez metros), previo su diseño estructural y estabilidad. Se utilizan métodos convencionales de construcción, en los cuales la mayoría de los maestros de construcción tienen experiencia.	Requieren de buen piso de cimentación. Son antieconómicos en alturas muy grandes y requieren de formaletas especiales. Su poco peso los hace inefectivos en muchos casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.
Concreto simple	Relativamente simples de construir y mantener, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse enchapes para su apariencia exterior.	Se requiere una muy buena fundación y no permite deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado, antes de que puedan trabajar efectivamente. Generalmente son antieconómicos para alturas de más de tres metros.
Concreto ciclópeo	Similares a los de concreto simple. Utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, disminuyendo los volúmenes de concreto.	El concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) no puede soportar esfuerzos de flexión grandes

Fuente: Cárdenas, Obras de protección de orillas, 2012 Univalle.

5.7.2. MUROS MASIVOS FLEXIBLES

Son estructuras masivas, flexibles. Se adaptan a los movimientos. Su efectividad depende de su peso y de la capacidad de soportar deformaciones importantes sin que se rompa su estructura. En la Tabla 5-3. se presenta un resumen de las ventajas y desventajas, analizando la Tabla 5-3. y extrapolando para el sitio critico en el Barranconess puede afirmar que esta solución es inviable debido a la zona donde se emplazarían por cuestiones constructivos sin embargo el sistema de PIEDRA -PEDRAPLEN puede ser utilizado como medida paliativa con la premisa que el material será arrastrado por el cauce.

Tabla 5-4. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muros flexibles

Muro	Ventajas	Desventajas
Gaviones	Fácil alivio de presiones de agua. Soportan movimientos sin pérdida de eficiencia. Es de construcción sencilla y ECONÓMICA.	Las mallas de acero galvanizado se corroen fácilmente en ambientes ácidos, por ejemplo, en suelos residuales de granitos se requiere cantos o bloques de roca, los cuales no necesariamente están disponibles en todos los sitios. Al amarre de la malla y las unidades generalmente no se le hace un buen control de calidad
Criba	Simple de construir y mantener. Utiliza el suelo en la mayor parte de su volumen. Utiliza elementos prefabricados los cuales permiten un mejor control de calidad.	Se requiere una muy buena fundación y no permite deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado, antes de que puedan trabajar efectivamente. Generalmente son antieconómicos para alturas de más de tres metros.
Llantas (Neusol)	Son fáciles de construir y ayudan en el reciclaje de los elementos utilizados.	No existen procedimientos confiables de diseño y su vida útil no es conocida.
Piedra - Pedraplén	Son fáciles de construir y económicos cuando hay piedra disponible.	Requieren de la utilización de bloques o cantos de tamaño relativamente GRANDES de difícil acceso en la región.

Fuente: Cárdenas, Obras de protección de orillas, 2012 Univalle.

5.7.3. MUROS DE TIERRA REFORZADA GEOBOLSAS

Las estructuras de tierra reforzada son terraplenes donde el suelo es su principal componente; y dentro de este, en el proceso de compactación, se colocan elementos de refuerzo para aumentar su resistencia a la tensión y al cortante. Internamente deben su resistencia principalmente, al refuerzo y externamente actúan como estructuras masivas por gravedad.
En la Tabla 5-3. se presenta un resumen de las ventajas y desventajas, analizando la Tabla 5-3. y extrapolando para la margen derecha del rio Banadias en la vereda Barrancones, se puede afirmar que esta solución es viable, son fáciles de construir este tipo de muros utilizan el suelo como su principal componente, se cuanta en la región con los equipos y mano de obra necesaria.

Tabla 5-5. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muros de tierra reforzada

Muro	Ventajas	Desventajas
Refuerzo con tiras metálicas	Los refuerzos metálicos le dan rigidez al terraplén y los prefabricados de concreto en su cara de fachada los hace presentables y decorativos. Existen empresas especializadas dedicadas a su construcción.	Las zonas de refuerzo requieren protección especial contra la corrosión. Se requieren características especiales en el relleno utilizado con los elementos de refuerzo. Algunos tipos de muro de tierra armada están cubiertos por patentes.
Refuerzo con geotextil	Son generalmente muy económicos y fáciles de construir.	El geotextil se descompone con la luz solar
Refuerzo con malla	La malla le da cierta rigidez al terraplén y las capas no constituyen superficies de debilidad. El efecto de anclaje es mejor.	dependiendo del material constitutivo la malla puede descomponerse o corroerse.

Fuente: Cárdenas, Obras de protección de orillas, 2012 Univalle.

5.7.4. PANELES SUMERGIDOS

Los paneles sumergidos son placas que se instalan verticales sobre el lecho del río, con una altura entre 0.2 y 0.4 veces la profundidad normal del flujo a sección llena, y un ángulo de ataque entre 15° y 25° con respecto al flujo principal; se diseñan para generar flujos secundarios transversales que contrarrestan los flujos secundarios naturales causantes de la socavación de

la banca; de esta manera se reduce la velocidad del flujo en el extradós de la curva o también se puede provocar la profundización del cauce mediante la redistribución de los sedimentos en la sección transversal; su efecto se extiende hasta una distancia de 12 a 15 veces la altura del panel.
Su uso en el área de estudio está condicionado pues para optimizar su acción se requiere instalar dentro del cauce en el tramo del meando lo cual constructivamente se dificulta ya que el canal principal presenta velocidades mayores a 3.0m/s y profundidades mayores a 2.5 metros.

Se descarta esta opción por las exigencias en el proceso constructivo.

5.7.5. ESPOLONES

Los espolones son estructuras lineales permeables e impermeables que son proyectadas dentro del canal con el propósito de alterar la dirección del flujo, inducir la sedimentación, y/o reducir las velocidades del flujo a lo largo de la orilla del canal. Los espolones se pueden clasificar en permeables e impermeables y a su vez también se pueden clasificar según su funcionalidad en estructuras de tipo retardadora, retardadora- divergente y estructuras permeables.
Su uso en el área del rio Banadia es una opción no recomendada por que estos estarían interpuestos a la corriente. Adicionalmente promueven la depositación acelerada y dadas las condiciones actuales con la presencia de grandes barras de material se presentarían conflictos por perdida de capacidad hidráulica del cauce; sin embargo, en la parte posterior se crea una zona de vórtices o de mayor erosión si la orientación y la distancia al espolón siguiente no son técnicamente correctas.
Para su implementación se requiere de mayor información topo batimétrica en cuanto a longitud del cauce aguas arriba y aguas abajo, campaña geotécnica y estudios geológicos para alimentar un modelo más robusto y poder modelar correctamente.

5.7.6. MATRIZ DE EVALUACION ALTERNATIVAS

Para la selección de la alternativa a implementar se evaluarán los parámetros de:

Proceso constructivo; se calificará de 1 a 3 donde se tendrá la siguiente calificación:

COMPLEJO	1	Sistemas constructivos no convencionales
CONVENCIONAL	2	Sistemas constructivos otros sectores de la construcción (Infraestructura, vivienda, puertos, marítima)
SIMPLE	3	Sistemas constructivos convencionales

Costo por metro lineal; se calificará de 1 a 3 donde se tendrá la siguiente calificación:

COSTOSO	1	Mayor a 50.000.001
PROMEDIO	2	20.000.001 a 50.000.000
FACTIBLE	3	Menor a 20.000.000

Capacidad a la socavación; se calificará de 1 a 3 donde se tendrá la siguiente calificación:

NO COMPETENTE	1	No Considera la socavación en su diseño
COMPETENTE	2	Mitiga los efectos de la socavación
MUY COMPETENTE	3	Considera la socavación en su diseño

Capacidad a la erosión; se calificará de 1 a 3 donde se tendrá la siguiente calificación:

NO COMPETENTE	1	No Considera la erosión n en su diseño
COMPETENTE	2	Mitiga los efectos de la erosión
MUY COMPETENTE	3	Considera la erosión en su diseño

Se evalúan todos los parámetros con la siguiente correlación:
SELECCION = Proceso constructivo x 0.25 + Costo por metro lineal x 0.25 + Capacidad a la socavación x 0.25 + *Capacidad a la erosión x 0.25*

Evaluando se tiene la siguiente matriz de evaluación, seleccionando la alternativa de **MUROS DE TIERRA REFORZADA**:

Tabla 5-6. Matriz de selección alternativas

	PROCESO CONSTRUCTIVO	COSTO ML	SOCAVACION	EROSIÓN	CALIFICACION
MUROS RIGIDOS	1	1	3	2	1.75
MUROS MASIVOS FLEXIBLES	2	2	1	2	1.75
GEOBOLSAS + ENRROCADO	3	2	3	2	2.5
PANELES SUMERGIDOS	1	1	2	2	1.5
ESPOLONES	1	1	3	2	1.75
PILOTE CON BOLSACRETOS	2	2	1	2	1.75

Fuente: Propia.

5.8. OBRAS HIDRÁULICAS SELECCIONADAS

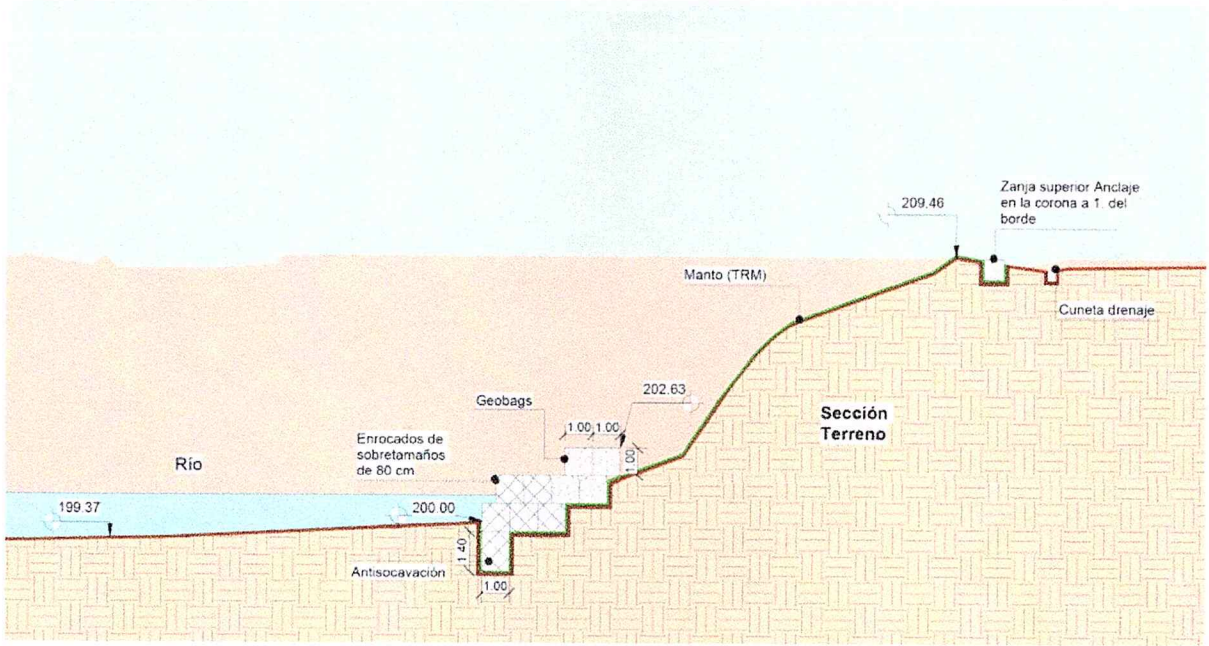
Según la evaluación y resultados de la Tabla 5-6, la alternativa seleccionada es **GEOBOLSAS + ENRROCADO**, para modelar esta alternativa se tienen en cuenta los resultados de los estudios de Geotecnia, exploración y geología donde se ha evaluado previamente la geometría y estabilidad desde la óptica de la geotecnia; a continuación, se realizará la evaluación de la estructura a implementar desde la especialidad de la hidráulica fluvial.

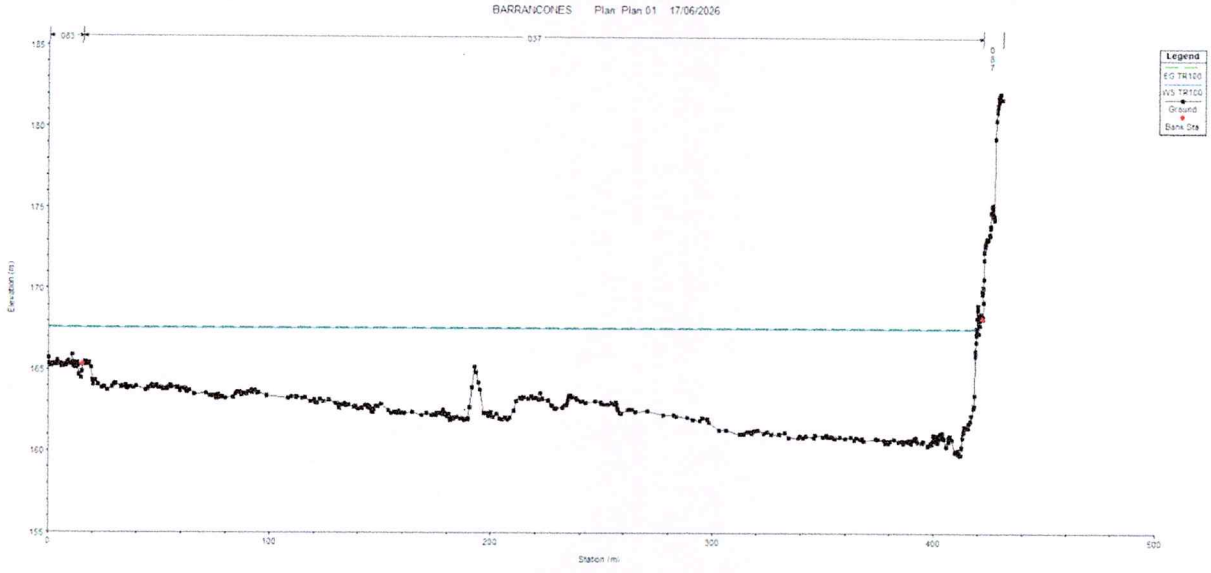
Se adelantó la modelación hidráulica de la corriente con las obras y adecuaciones del cauce, utilizando el programa Hec-Ras, esto en función de revisar el impacto de la lámina de agua sobre las llanuras de inundación.

Como se presentó en la Tabla 5-2, se adoptó como coeficiente de rugosidad de Manning, para el cauce principal un valor de 0.037, para la banca izquierda 0.083 y para la banca derecha un valor de 0.088.

Se adoptó como condición de frontera aguas arriba y aguas abajo la profundidad CRITICA teniendo en cuenta la pendiente media del cauce (1.1%), dicho modelo hidráulico ha sido corrido con régimen mixto, dado a las condiciones variable que presenta un flujo en cauces naturales.

Figura 5-10. Río Banadia a la altura del sector Barrancones- Modelo geométrico con obra de proteccion



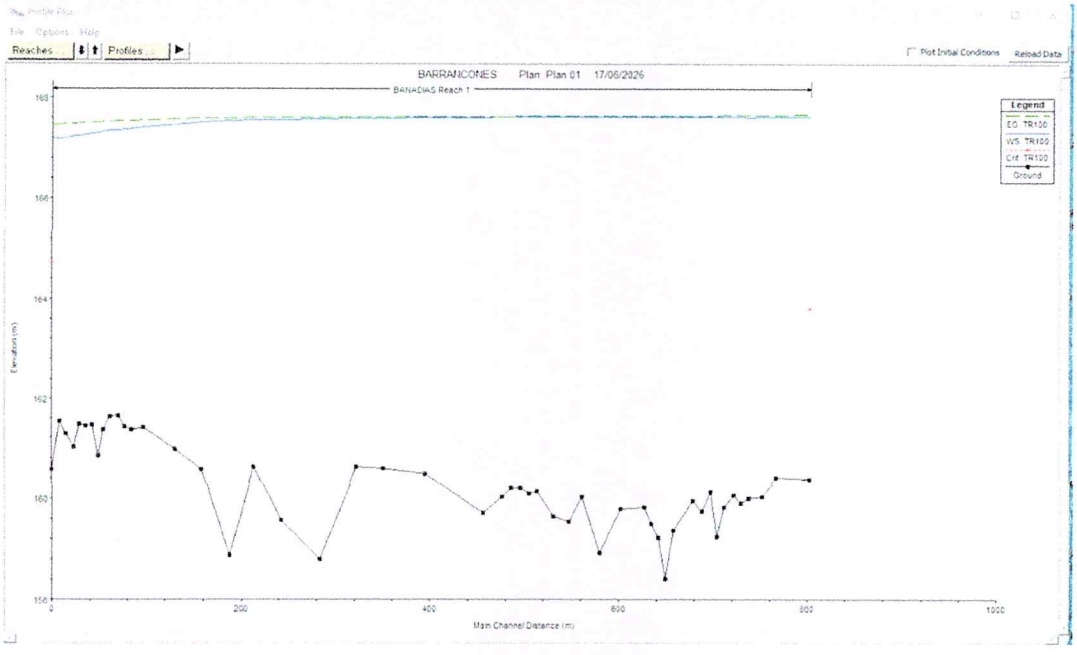


Fuente: Software Hec-Ras

En la Figura 5-11 se muestra la lámina de agua esperada en perfil longitudinal a lo largo del Río BANADIA en la zona de estudio.

De acuerdo con los análisis, actualmente no se tiene la capacidad suficiente para el paso de la creciente estimada para un periodo de recurrencia de 100 años.

Figura 5-11. Río BANADIA– Perfil de la lámina de agua ENRROCADO - GEOBOLSAS



Fuente: Software Hec-Ras

En la Figura 5-12 y Figura 5-13 se presentan los parámetros hidráulicos estimados a la altura del meandro con fuerte tendencia a laterización del cauce aguas arriba y aguas abajo respectivamente.

Figura 5-12. Río BANADIA– Parámetros hidráulicos ENRROCADO - GEOBOLSAS aguas arriba

Plan: 01 BANADIAS Reach 1 RS: 605 Profile: TR 100

E.G. Elev (m)	167.63	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.02	Wt. n-Val.	0.083	0.037	
W.S. Elev (m)	167.62	Reach Len. (m)	21.80	21.80	21.80
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	35.96	2098.63	
E.G. Slope (m/m)	0.000051	Area (m2)	35.96	2098.63	
Q Total (m3/s)	1190.43	Flow (m3/s)	4.71	1185.72	
Top Width (m)	419.53	Top Width (m)	15.40	404.13	
Vel Total (m/s)	0.56	Avg. Vel. (m/s)	0.13	0.56	
Max Chl Dpth (m)	7.83	Hydr. Depth (m)	2.33	5.19	
Conv. Total (m3/s)	167066.6	Conv. (m3/s)	661.6	166405.1	
Length Wtd. (m)	21.80	Wetted Per. (m)	19.06	417.63	
Min Ch El (m)	159.79	Shear (N/m2)	0.94	2.50	
Alpha	1.02	Stream Power (N/m s)	0.12	1.41	
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)	10.04	851.21	36.13
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	4.45	170.41	13.25

Fuente: Software Hec-Ras

Figura 5-13. Río BANADIA– Parámetros hidráulicos ENRROCADO - GEOBOLSAS aguas abajo

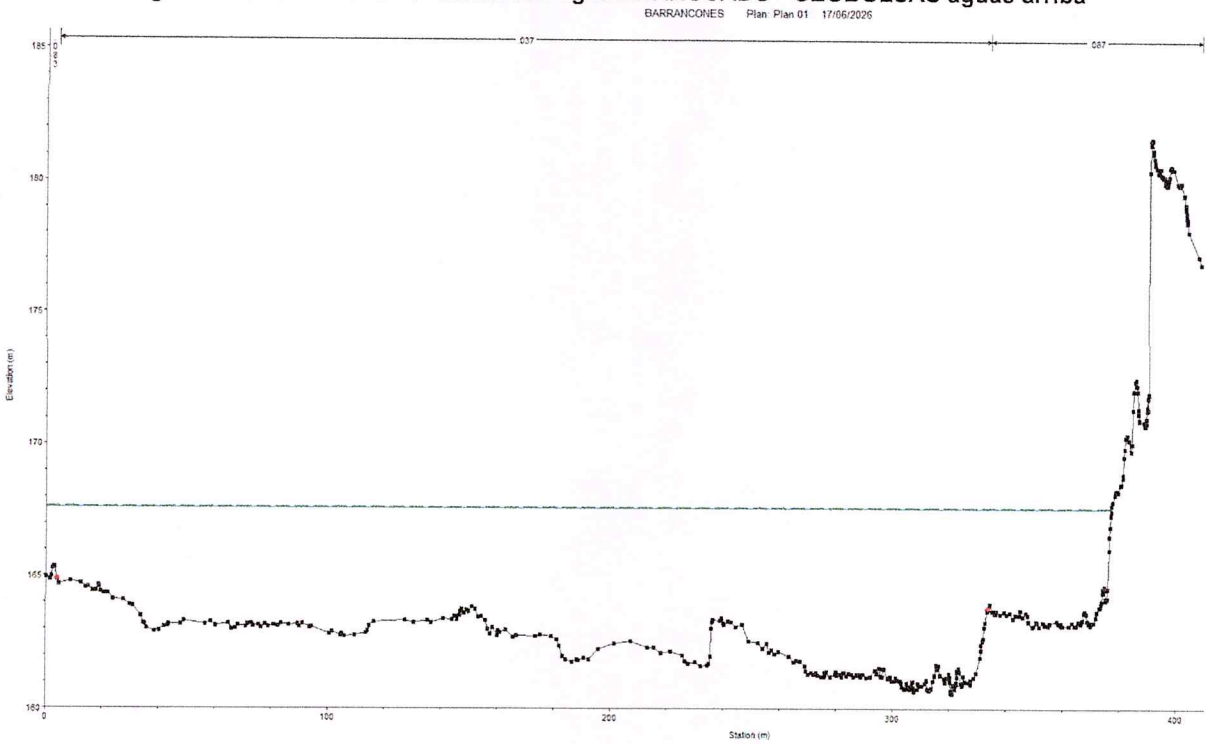
Plan: 01 BANADIAS Reach 1 RS: 190 Profile: TR 100

E.G. Elev (m)	167.59	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.06	Wt. n-Val.	0.083	0.037	0.087
W.S. Elev (m)	167.53	Reach Len. (m)	15.00	29.20	15.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	16.92	1021.17	166.27
E.G. Slope (m/m)	0.000207	Area (m2)	16.92	1021.17	166.27
Q Total (m3/s)	1190.43	Flow (m3/s)	4.58	1134.68	51.16
Top Width (m)	265.02	Top Width (m)	6.50	205.50	53.02
Vel Total (m/s)	0.99	Avg. Vel. (m/s)	0.27	1.11	0.31
Max Chl Dpth (m)	8.66	Hydr. Depth (m)	2.60	4.97	3.14
Conv. Total (m3/s)	82701.8	Conv. (m3/s)	318.5	78829.0	3554.3
Length Wtd. (m)	28.47	Wetted Per. (m)	8.67	211.55	78.19
Min Ch El (m)	158.87	Shear (N/m2)	3.97	9.81	4.32
Alpha	1.21	Stream Power (N/m s)	1.07	10.90	1.33
Frctn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)	2.66	129.67	19.62
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	1.48	27.76	8.63

Fuente: Software Hec-Ras

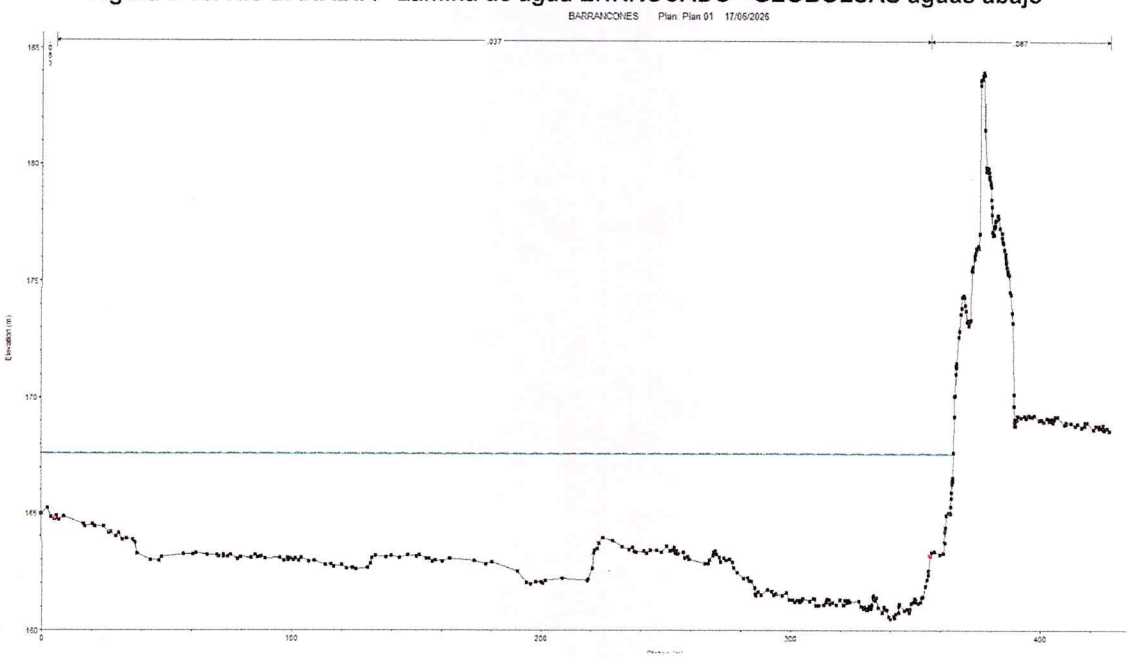
En la Figura 5-14 y Figura 5-15 se muestra la sección transversal de la cara de aguas arriba de la estructura. Se adjuntan los reportes de la modelación y los archivos magnéticos.

Figura 5-14. Río BANADIA– Lámina de agua ENRROCADO - GEOBOLSAS aguas arriba



Fuente: Software Hec-Ras

Figura 5-15. Río BANADIA– Lámina de agua ENRROCADO - GEOBOLSAS aguas abajo

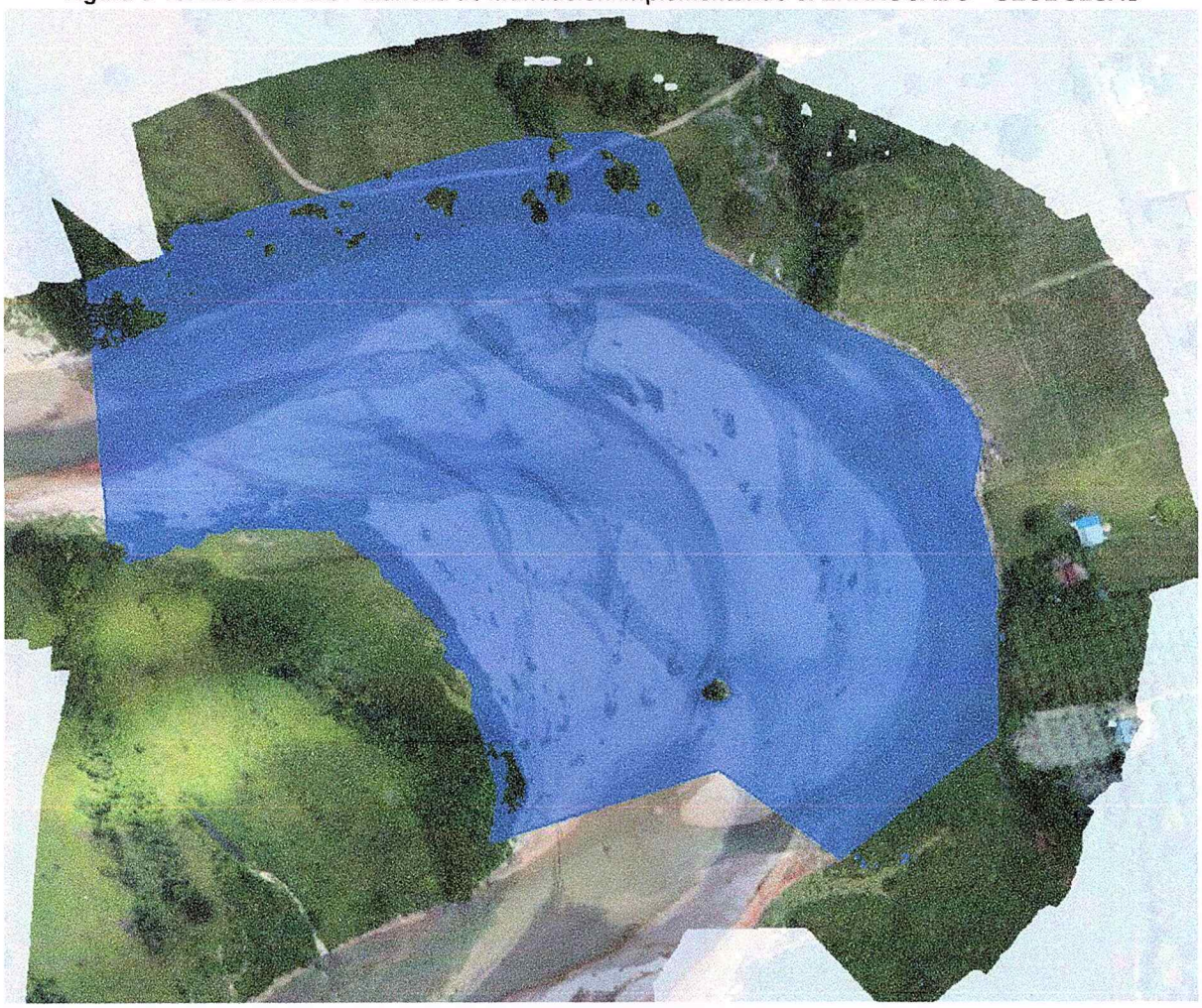


Fuente: Software Hec-Ras

En la Figura 5-16 se muestra la mancha de inundación donde se simula el movimiento del agua en la zona correspondiente al Barrancones implementando el ENRROCADO - GEOBOLSAS, en la modelación se evidencia la funcionalidad del ENRROCADO - GEOBOLSAS protegiendo los terrenos adyacentes a la margen derecha .

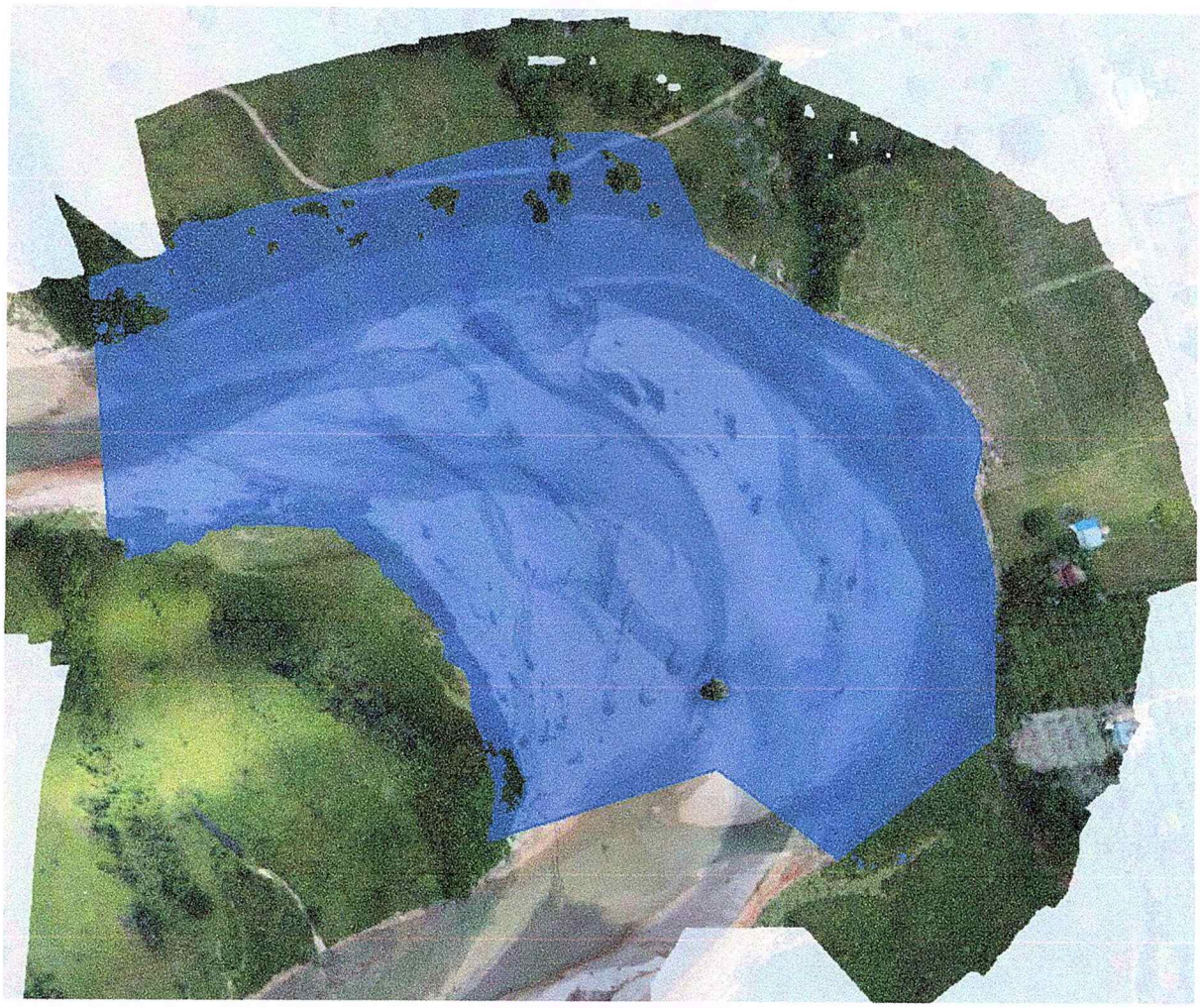
La Figura 5-17 muestra la distribución de velocidades en el cauce, se aprecia la disminución de velocidades en la margen derecha donde se predicen velocidades de hasta 1.5m/s con lo cual se logra controlar la erosión lateral.

Figura 5-16. Río BANADIA–Mancha de inundación implementando el ENRROCADO - GEOBOLSAS



Fuente: Software Hec-Ras

Figura 5-17. Río BANADIA–Velocidades en el cauce



Fuente: Software Hec-Ras

5.8.1. PROTECCIÓN DEL TALUD CON ENRROCADO y GEOBOLSAS

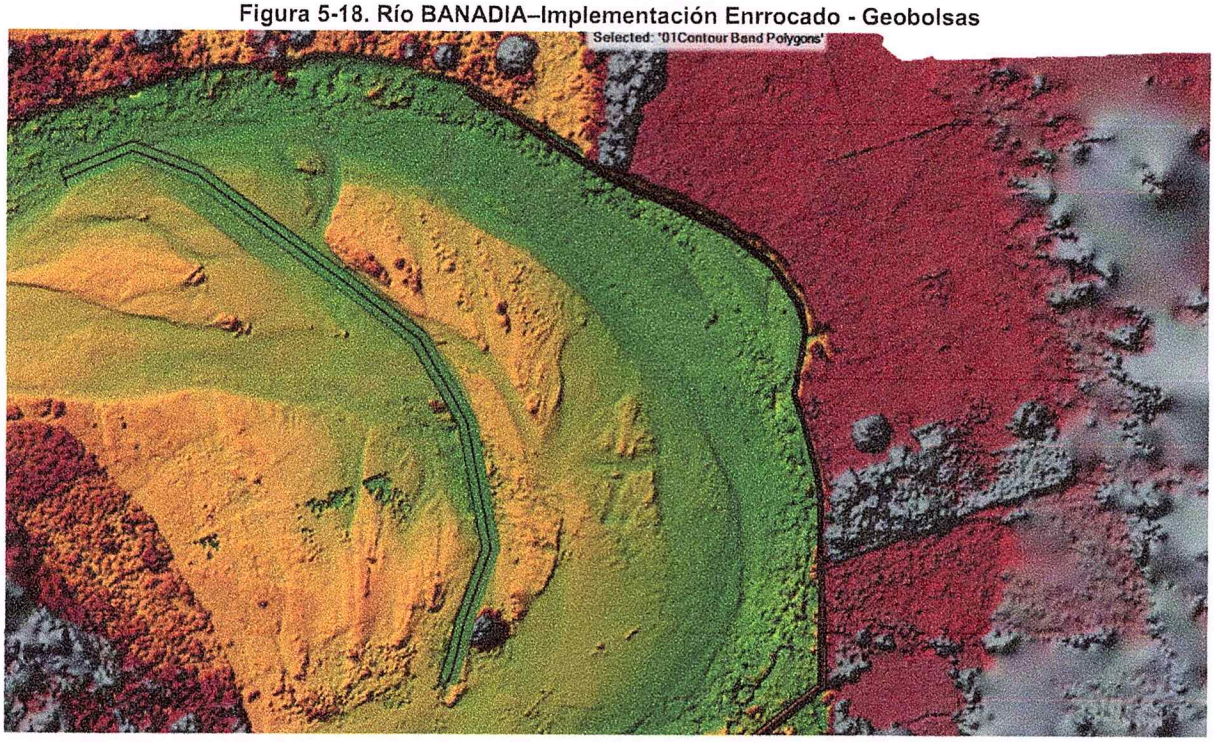
Para el control de la degradación del lecho y el socavamiento lateral en el pie del talud se configuró mediante un esquema compuesto híbrido y flexible que absorbe las deformaciones subsuperficiales sin perder continuidad estructural. Este componente basal se divide en dos estructuras complementarias:

Núcleo de Geobolsas Estructuradas (Cuerpo Basal): Se diseñó un muro de gravedad flexible cimentado bajo la cota de socavación local calculada (1.4m por debajo del lecho). Este se compone de geobolsas (especificación Pavco TR7000HF o similar, fabricadas con geotextil tejido de polipropileno de alta tenacidad, resistencia nominal a la tensión de 140 kN/m). Las bolsas se llenan con material aluvial propio del sitio a un porcentaje de compactación volumétrica operativa de entre el **80% y 85%**, asegurando una geometría aplanada tipo "cojín" que maximiza el área de contacto y la transferencia de esfuerzos por fricción. Su disposición en el sector inferior

y subacuático del talud se ejecuta mediante un aparejo trabado (junta rompeolas desplazada a media longitud de bolsa), evitando la continuidad de juntas verticales.

Enrocado de Protección Frontal (Flexibilidad y Sacrificio): Dispuesto inmediatamente aguas arriba y al frente del sistema de geobolsas, actúa como la primera línea de defensa mecánica contra el impacto directo de detritos y la socavación por corrientes bruscas en tramo curvo (factor de turbulencia K_T = 1.5). Consiste en un prisma de roca o enrocado compactada de diámetro crítico de partícula (d_{50}) balanceado para resistir la velocidad crítica horizontal de diseño (Uc} = 3.0m/s). El enrocado confina el pie de las geobolsas e impide el descalce hidráulico; si ocurre una socavación imprevista, los bloques de roca se reacomodan por gravedad rellenando los vacíos sin comprometer la verticalidad del muro interior.

Figura 5-18. Río BANADIA–Implementación Enrrocado - Geobolsas



Fuente: Propia

6. OBRAS DE PROTECCIÓN TALUD - Mantos Permanentes de Control de Erosión (TRM)

Para la superficie expuesta del talud sobre el nivel medio del río (con una altura total de 9 m y suelo arenoso mal graduado tipo SP/SM con Nmedio SPT = 8.75, se implementó un sistema de bioingeniería basado en mantos permanentes de alto desempeño (TRM - *Turf Reinforcement Mats*).

Se seleccionó un manto sintético permanente tridimensional de Pavco (familia TRM 700 / TRM 1000) de matriz homogénea verde, compuesta por fibras 100% de polipropileno estabilizadas contra la radiación UV. Su estructura abierta permite el confinamiento de suelo orgánico, la retención de humedad y la protección contra la escorrentía pluvial directa mientras se establece la revegetación técnica (hidrosembra o pasto Vetiver de enraizamiento profundo).

Debido a la susceptibilidad del suelo al arrancamiento por viento o por flujo descendente, los rollos se despliegan estrictamente en sentido vertical (desde la corona hacia el pie) con traslapos tipo teja (*mínimo 0.15 m lateral y 0.30 m transversal*). Se fijan mediante grapas de acero corrugado de diámetro 3/8" configuradas en "U" con una longitud extendida de **30 cm** para penetrar la matriz arenosa suelta. La distribución en la cara del talud adopta un patrón denso a tresbolillo de **3.5 grapas/m2** (espaciamiento horizontal de 0.50 m y vertical de 0.60 m), incrementándose cada 0.25 m en los bordes perimetrales.

7. ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN

El modelo de análisis objeto del presente estudio hace referencia a las obras de mitigación y protección en puntos críticos, realizadas sobre la margen derecha del río Banadia partiendo de un modelo de simulación hidráulica, que permita evaluar la socavación general de la sección del cauce ante un evento de crecientes de acuerdo al periodo de retorno establecido como objetivo del presente estudio.

7.1. Socavación general

El incremento de caudal y por consiguiente la energía del flujo ante eventos de creciente, tiende a ocasionar la variación de la geometría, por medio de la modificación en profundidad en las diferentes direcciones del cauce para habilitar el área hidráulica que habilite al cauce para conducir esos máximos volúmenes.

La socavación se presenta debido al aumento de la capacidad de arrastre del material solido por parte de la corriente, a consecuencia de un aumento de velocidad. En el caso de la zona de estudio, debido a las condiciones de material granular predominante, la velocidad de arrastre es aquella que mantiene un movimiento generalizado de las partículas, haciendo uso de la granulometría de la zona mediante la determinación del diámetro medio de las partículas, con lo cual se tiene:

$$V_c = 6.19 Y_0^{1/6} d_{50}^{1/3}$$

Donde:

V_c	:	Velocidad critica de arrastre de partículas [m/s]
Y_0	:	Profundidad de flujo [m]
d_{50}	:	Diámetro de la partícula de lecho de la muestra [m]

- **Tamaño de partícula para la evaluación de procesos de socavación**

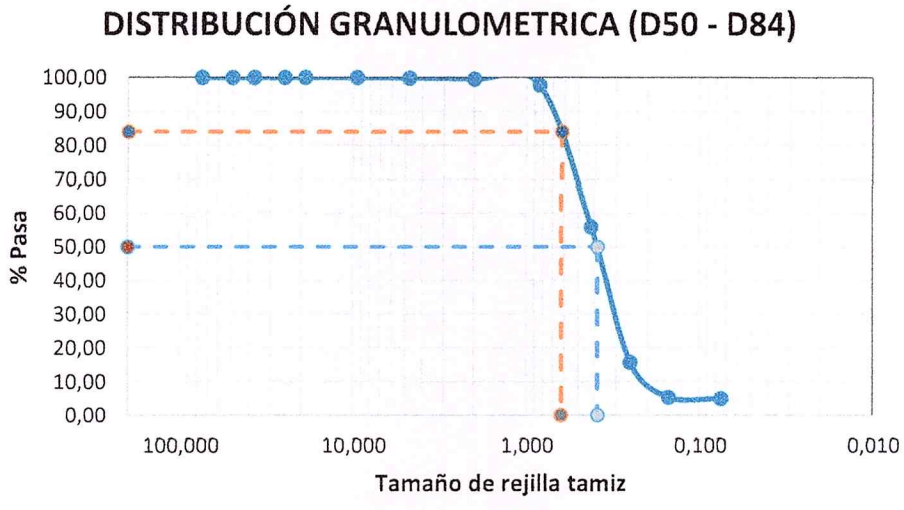
Teniendo en cuenta la geología regional, se realiza la evaluación de muestras recolectadas en la zona de influencia, con el fin de brindar conocimiento más específico en cuanto a la distribución de tamaños de partícula presentes en la misma, encontrando predominancia de materiales no cohesivos en la zona (granulares), lo cual permite establecer la metodología de evaluación de socavación, así como los valores base para la realización de dichos cálculos.

En el caso de este estudio, se requiere de la distribución granulométrica de acuerdo al tamaño porcentaje de material que pasa cada uno de los tamices para la gradación, la cual es presentada en la Tabla 7.1, en donde se evidencian los detalles de la muestra empleada, permitiendo así la elaboración de la Gráfica 7.1 que permite establecer los valores de material que pasa determinado tamiz, en este caso siendo el 84% y 50% del material los requeridos para la comparación y uso en cálculos específicos.

Tabla 7.1 Distribución granulométrica promedio de la zona de evaluación

TAMIZ		% PASA TOTAL	*APIQUE 3 - M1*	*APIQUE 3 - M2*	*APIQUE 4 - M1*	*APIQUE 4 - M2*	% PASA PROMEDIO
Abertura pulg	Abertura mm.		% PASA TOTAL	% PASA TOTAL	% PASA TOTAL	% PASA TOTAL	
3"	75.000	67.40	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000
2"	50.000	42.10	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000
1 1/2"	37.500	35.80	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000
1"	25.000	27.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000
3/4"	19.000	22.80	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000
3/8"	9.500	18.10	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000
# 4	4.750	15.80	99.70	100.00	99.80	100.00	99.875
# 10	2.000	14.50	99.40	100.00	98.80	100.00	99.550
# 20	0.842	12.60	97.50	99.80	94.10	99.80	97.800
# 40	0.420	10.00	31.60	54.10	41.60	96.30	55.900
# 60	0.250	7.80	10.70	13.80	15.10	23.30	15.725
# 100	0.150	4.70	4.60	5.80	5.70	5.60	5.425
# 200	0.075	3.80	4.30	5.60	5.10	5.10	5.025
PASA # 200 POR TAMIZADO		0	0	0	0	0	0.000
PASA # 200 TOTAL		0	0	0	0	0	0.000
TOTAL		0	0	0	0	0	0.000

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica 7.1 Distribución granulometría, determina D_{50} y D_{84}

Fuente: Elaboración Propia.

7.2. Método de Maza Cruickshank

El método de **Maza-Cruickshank** evalúa la socavación máxima esperada en la curva exterior de un meandro dinámico bajo condiciones hidrodinámicas extremas. De acuerdo con los análisis técnicos de la sección:

- **Tirante medio de aproximación (y):** 7.0 m
- **Tirante máximo erosionado en la curva (ys):** 8.40 m

A partir de estos niveles, la **Profundidad Neta de Socavación (ds)** por debajo del lecho original del río se calcula mediante la diferencia de tirantes:

$$d_s = y_s - y$$

$$d_s = 8.40\ \text{m} - 7.0\ \text{m} = \mathbf{1.40}\ \text{m}$$

En este orden de ideas el fondo original del lecho del río sufrirá un descenso vertical de **1.40 m** debido a los esfuerzos cortantes del flujo helicoidal en el meandro. Por lo tanto, la uña de empotramiento basal del enrocado debe profundizarse como mínimo hasta esta cota para evitar que el flujo desestabilice el pie de la estructura

8. CONCLUCIONES Y RECOMENDACIONES

- El río Banadia a la altura del sector denominado Barrancones (municipio de Saravena, Arauca), históricamente ha expuesto situaciones de riesgo por inundación a los pobladores del sector; para lo cual se realizó el análisis puntual de los aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrográficos, morfométricos, climáticos e hidrológicos para el área que corresponde a la delimitación del cauce de dicha corriente superficial, calculándose los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno a ser considerados para la construcción de las diferentes obras propuestas en el marco del proyecto.

- Apoyándose en sistemas de información geográfica, se logró delimitar la cuenca, o bien, el área aferente al tramo de estudio.

- Para la cuenca del río Banadia se analizaron los registros históricos de precipitaciones de 4 estaciones meteorológicas administradas por el IDEAM, las cuales contaban con un registro de datos en un periodo de tiempo aceptable, además de homogeneidad en sus datos.

- Basados en la precipitación media mensual multianual para las estaciones analizadas, se puede diferenciar dos temporadas, una de menor precipitación que abarca los meses de diciembre a marzo y otro de mayores lluvias que va desde abril hasta noviembre presentando un comportamiento de régimen monomodal.

- De acuerdo con el análisis de frecuencias de precipitación para cada estación analizada, se determinó un valor de precipitación máxima en 24 horas de 272.00 mm para un periodo de retorno de 100 años en el área correspondiente al área aferente del río Banadia en el sector de estudio.

- La estabilidad integral de la margen derecha del río Banadías en el sector Barrancones se logra mediante el funcionamiento acoplado y continuo de tres componentes: una base flexible contra la socavación (geobolsas y enrocado), un cuerpo protegido contra la meteorización (mantos TRM con revegetación) y una corona con drenaje controlado (cuneta e interceptación pluvial). La falla o discontinuidad en cualquiera de estas interfaces comprometería la seguridad global de la obra.

- El esquema híbrido basal compuesto por el núcleo de geobolsas de alta tenacidad y el prisma frontal de enrocado de sacrificio garantiza una respuesta óptima frente a corrientes bruscas en tramos curvos (KT = 1.5). Este sistema absorbe los asentamientos del lecho y previene el descalce estructural bajo la cota de socavación local calculada de 1.4 m, manteniendo el confinamiento de la uña del talud.

- La inclusión de la zanja de anclaje de corona y la cuneta superior de concreto previene de forma contundente la infiltración incontrolada de la planicie de inundación adyacente. Al interceptar y encauzar longitudinalmente la escorrentía pluvial, se eliminan los riesgos de tubificación, deslavado de finos en la cresta y fallas por cortante asociadas a condiciones críticas de saturación.

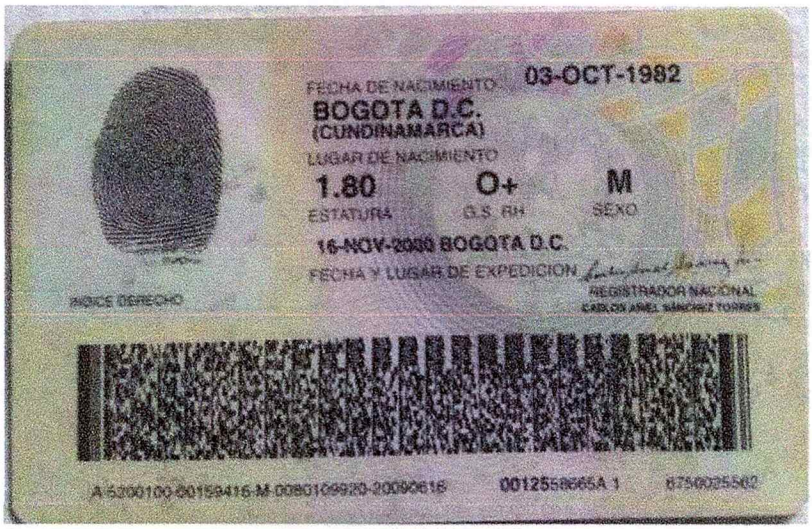
JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA
INGENIERO CIVIL
T.P. 25202-143899
Especialista En Vías y Trasporte
Especialista En Estructuras
Especialista En Hidráulica y Ambiental

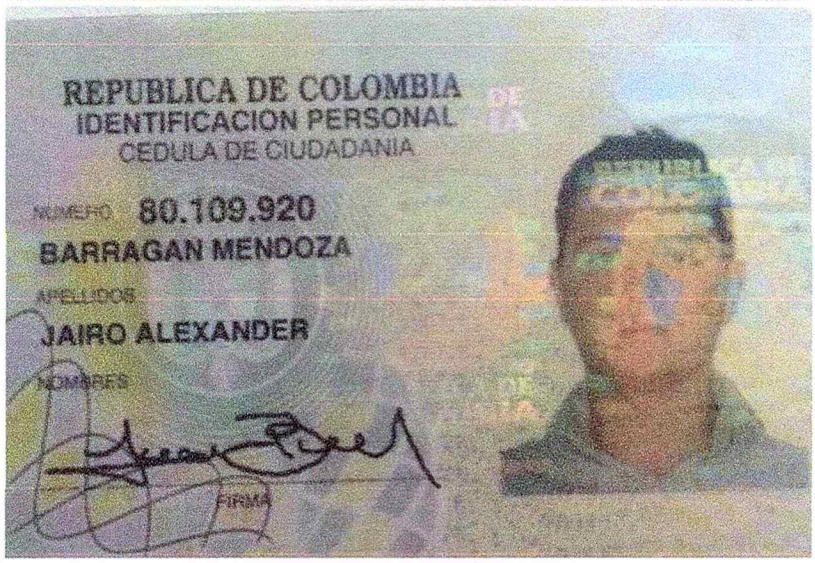
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Handbook for Engineers and Planners- By Nicklow/Boulos/Muleta 1ST edit. 2006.
- Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. Vargas, R. - Diaz G., Universidad de los Andes, Bogotá, D.C., 1998.
- Design of Small Dams. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation. D.C. 1967.
- Design Method for local scour at Bridge Piers. B.W. Melville and A.J Sutherland Journal of Hydraulic Engineering. A.S.C.E. October 1988
- Distribuciones Probabilísticas Comunes utilizadas en los recursos hidráulicos. Por Roger Amisial. CIDIAT. Mérida Venezuela 1976.
- Estructuras de vertimiento de aguas en laderas de media a fuerte pendiente canal de pantallas deflectoras (CPD) y canal de rápidas con tapa y columpio (CRTC). Mejía Fernández F., Universidad Nacional de Colombia – sede Manizales, s/f. Disponible en: http://www.manizales.unal.edu.co/gestion_riesgos/descargas/ponencias/Manual_estructuras_vertimiento.pdf.
- Gumbel Distribution: Dennis Lettenmaier ASCE Abril-82 Journal of Hydraulics
- Hidráulica de Canales. Julián Aguirre Pe. 1978. CIDIAT. ULA.
- *Hidráulica de Canales Abiertos. Chow, V. Mc. Graw Hill, Bogotá, D.C., 1994.*
- Hidrología para Ingenieros. Linsley, Kohler y Paulus. 2a. Edición. 1977
- Hidráulica de Sedimentos. Julián Aguirre Pe. Universidad de los Andes. Mérida. CIDIAT 1977.
- Hydraulic design of stepped cascades, channels, weirs an spillways. Chanson H. Elsevier Science Ltd, England, 1994.
- Hydraulics of High-Gradient Streams, by Robert D. Jarret, November of 1984. Journal of Hydraulic Engineering. A.S.C.E.
- Hidrología Aplicada. Chow, V. – Maidment, D. - Mays, L. Mc. Graw Hill, Bogotá, D.C., 1994.
- Hidrología Aplicada. Ramírez, Maritza. Universidad de Los Andes. Venezuela. 2003.
- Hidrología para Ingenieros. Linsley, Kohler y Paulus. 2a. Edición. 1977
- Hidrología Subterránea: Barcelona. Custodio & Llamas. 1984.
- Highway Hydrology. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Hydraulic Design Series No. 2, Second Edition. Publication No. FHWA-NHI-02-001.October 2002.
- Highway Subdrainage design. Moulton Lyle K., US Department of Transportation – Federal Highway Administration, Publication No. FHWA–TS-80-224, Agosto 1980. Disponible en: https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/009633.pdf.
- Ingeniería Hidrológica. Nanía, L. – Gómez, M., Ed. 2. Grupo Editorial Universitario. España, 2006.
- Introducción a la Hidráulica de Canales. Duarte, C. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., 2016.
- Local Scour at Bridge abutments B.W. Melville. Journal of Hydraulic Engineering. A.S.C.E. April 1992.
- Manual de Conservación de suelos y aguas. Benítez, C., Arias, W. Quiroz, J. Ministerio de Agricultura y Alimentación. Dirección General de aguas y suelos. Lima, Perú. 20 p. 1980.
- Manual de Drenaje para Carreteras. Ministerio de Desarrollo República de Colombia, Instituto Nacional de Vías. , Bogotá, D.C., 2009. Disponible en: https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras.

- Manual de Diseño con Geosintéticos, Geosistemas Pavco. Departamento de Ingeniería - Geosistemas. Edición 9, junio 2012. Disponible en: http://www.geosoftpavco.com/manualvirtual/document.pdf
- Método de Laursen y Toch para la socavación local en estribos. Por Isabel Flores. Cidiat Mérida Venezuela. 1979.
- Open Channel Flow. Henderson, F. M., Macmillan Publishing Co., Inc, New York, 1966.
- Peak Discharge for Small Watersheds. Calibration Procedures for Rational and USCS Design Flood Methods Journal of Hydraulic Engineering. American Society of Civil Engineers. Hotchkiss and Mc.Callum. Enero de 1995.
- Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Breñan Puyol, A. – Jacobo Villa, M., Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, 2006.
- Probabilistic Bridge Scour Estimates, Peggy A Johnson. Julio-98. Journal of Hydraulics. ASCE.
- Relation between Mean an Maximun velocities in a natural River. Renjie Xia. December-98. Journal of Hydraulics. ASCE
- River Morphology and Thresholds, por Howard Chang. Journal of Hydraulic Engineering. A.S.C.E. Marzo de 1985.
- Scour protection at Bridge piers. Yee-Meng-Chiew. Journal of Hydraulic Engineering. A.S.C.E. September 1992
- Sediment Transport Technology. Daryl B. Simons and Fuat Sentürk. Water Resources Publications. Fort Collins Colorado.1977.
- Sediment Transport, Part I, II, III. Diferentes "papers" publicados entre 1983 y 1985 por Leo Van Rijn. Journal of Hydraulic Engineering. A.S.C.E.
- Socavación en Puentes. Guevara, M. Universidad del Cauca. Popayán. 2016.
- Synthetic Unit Hydrographs. F.F. Snyder .Trans. American Geophisics Union.Vol 19. 1938
- Water Supply and Sewerage. Mc Gee. 6th Ed. 1991. Mc Graw Hill.

[JABM]+ingenieria
ING. JAIRO ALEXANDER BARRAGÁN MENDOZA





[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 - 314 266 7628

[JABM]+ingenieria
ING. JAIRO ALEXANDER BARRAGÁN MENDOZA

LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE

EN ATENCIÓN A QUE

Jairo Alexánder Barragán Mendoza

C.C. 80'109.920 de Bogotá, D.C.

HA CURSADO TODOS LOS ESTUDIOS Y CUMPLIDO LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS POR LA UNIVERSIDAD Y LAS DISPOSICIONES LEGALES PARA OPTAR EL GRADO UNIVERSITARIO EN LA FACULTAD DE

Ingeniería Civil

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

25 ABR. 2007
NOTARIO CUARENTA (E)

EL TÍTULO DE **Ingeniero Civil**

EN FE DE LO CUAL FIRMAMOS Y SELLAMOS ESTE DIPLOMA EN
BOGOTÁ, D.C. A LOS 20 DÍAS DEL MES DE abril AÑO DE 2007

Fabio Gallego Arrubla F.S.C. — Héctor Vega Gaitán — Guillermo Pinzuara Morales



[JABM]+ingenieria
ING. JAIRO ALEXANDER BARRAGÁN MENDOZA

REPUBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2026-4634571

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 80109920, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 25202-143899 desde el 21 de Junio de 2007, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 341.

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 veintinueve (29) 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.

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

[JABM]+ingenieria
ING. JAIRO ALEXANDER BARRAGÁN MENDOZA



República de Colombia
Ministerio de Educación Nacional

La Universidad Nacional de Colombia

Teniendo en cuenta que

Jairo Alexander Barragan Mendoza
C.C. 80.109.920 de Bogotá D.C.

cumplió satisfactoriamente todos los requisitos académicos reglamentarios del Plan de Estudios de Posgrado, le confiere el Título de

Especialista en Vías y Transporte

En la ciudad de Manizales, a los 25 días del mes de octubre de 2021

Decanatura de Facultad | Rectoría | Secretaría General

Registro No 2524, Folio 69 del Libro de Diplomas n.° 3
de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Sede Manizales

64917

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628



República de Colombia
Ministerio de Educación Nacional

La Universidad Nacional de Colombia

Teniendo en cuenta que

Jairo Alexander Barragán Mendoza

C.C. 80.109.920 de Bogotá

cumplió satisfactoriamente todos los requisitos académicos reglamentarios del Plan de Estudios de Posgrado, le confiere el Título de

Especialista en Ingeniería Hidráulica y Ambiental

En la ciudad de Manizales, a los 14 días del mes de septiembre de 2018

Decanatura de Facultad | Rectoría | Secretaría General

Registro n.° 1706, Folio 14 del Libro de Diplomas n.° 1
de la Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura

54145



República de Colombia
Ministerio de Educación Nacional

La Universidad Nacional de Colombia

Teniendo en cuenta que

Jairo Alexander Barragán Mendoza

C.C. 80.109.920 de Bogotá D.C.

cumplió satisfactoriamente todos los requisitos académicos reglamentarios del Plan de Estudios de Posgrado, le confiere el Título de

Especialista en Estructuras

En la ciudad de Manizales, a los 5 días del mes de diciembre de 2019

Decanatura de Facultad | Rectoría | Secretaría General

Registro No 1950, Folio 30 del Libro de Diplomas n.° 3
de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Sede Manizales

58105

[JABM]+ingenieria
ING. JAIRO ALEXANDER BARRAGÁN MENDOZA

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, **JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA**, identificado con cédula de ciudadanía No 80.109.920, de profesión Ingeniero Civil con T.P. N° 25202-143899 con más de DIEZ (10) años de experiencia de ejercicio profesional, por medio del presente documento declaro que asumo toda responsabilidad del estudio de hidrología, hidráulica y socavación para el proyecto "**CONSTRUCCIÒN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE EROSIÓN LATERAL Y SOCAVACIÓN BASAL EN TALUDES DE LA MARGEN DERECHA DEL RÍO BANADÍAS – SECTOR CRÍTICO BARRANCONES EN EL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA.**",

Por lo anterior, manifiesto que asumo toda responsabilidad referente a los perjuicios que puedan deducirse a causa de este estudio y exonero al municipio de Saravena ante terceros de cualquier responsabilidad civil, penal o administrativa por cualquier falta u omisión del presente estudio.

Se da cumplimiento a la normativa y reglamentos vigentes aplicables al área de estudio. Así mismo el presente documento no podrá ser modificado, sin la autorización del profesional responsable, una vez el proyecto sea viabilizado por la entidad competente.
Para los fines pertinentes, anexo copia de mi Tarjeta o Matrícula Profesional, certificado de vigencia de la misma y copia de la cédula de ciudadanía.

Se expide a los (25) días del mes de junio de 2026.
Cordialmente,

Cordialmente,

JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA
Ingeniero Civil
T.P. 25202-143899
Especialista En Vías y Trasporte
Especialista En Estructuras
Especialista en ingeniería hidráulica y ambiental

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

[JABM]+ingenieria
ING. JAIRO ALEXANDER BARRAGÁN MENDOZA

DONACIÓN

Saravena - Arauca junio de 2026

Señores:
ALCALDIA DE SARAVENA

REF: DONACIÓN DEL ESTUDIO DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y SOCAVACIÓN para el proyecto " CONSTRUCCIÒN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE EROSIÓN LATERAL Y SOCAVACIÓN BASAL EN TALUDES DE LA MARGEN DERECHA DEL RÍO BANADÍAS – SECTOR CRÍTICO BARRANCONES EN EL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA."

Yo, **JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA**, Ingeniero Civil Especialista en estructuras, identificado con cedula de ciudadanía No. 80.109.920 de Bogotá D.C y matricula profesional No. 25202-143899 CND expedida por el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería, actuando en nombre propio me permito comunicar que, como acto libre y voluntario, es mi propósito hacer entrega a título gratuito e irrevocable del estudio de hidrología, hidráulica y socavación, documentos soporte y derechos de autor que integran la formulación integral del proyecto denominado "**CONSTRUCCIÒN DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE EROSIÓN LATERAL Y SOCAVACIÓN BASAL EN TALUDES DE LA MARGEN DERECHA DEL RÍO BANADÍAS – SECTOR CRÍTICO BARRANCONES EN EL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA**"

Por lo anterior, manifiesto ceder plenamente los derechos a la alcaldia Municipal de Saravena. La duración de los derechos cedidos será por término indefinido a partir de la fecha de la firma de la presente carta de cesión de derechos.

Atentamente,

JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA
Ingeniero Civil
T.P. 25202-143899
Especialista En Vías y Trasporte
Especialista En Estructuras
Especialista en ingeniería hidráulica y ambiental

[EMAIL] ingenierobarragan@gmail.com [MOVIL] 057 + 314 266 7628

