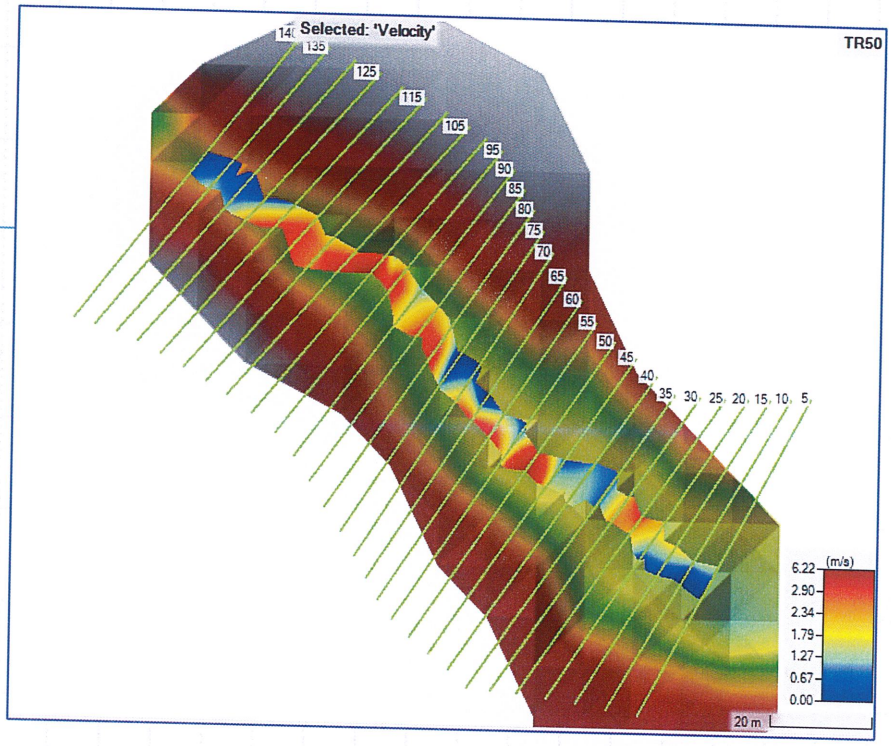
EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DEL META
EDESA S.A. E.S.P.



ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, AMPLIACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE OBRAS DE REDES E INFRAESTRUCTURA DE AGUA POTABLES Y SANEAMIENTO BÁSICO EN LOS MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DEL META

CONTRATO No. 081 DE 2023.

SUBPROYECTO "ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DEL EMISARIO FINAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO, DISTRITO OCCIDENTAL DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE RESTREPO, META

INFORME HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y DE SOCAVACIÓN DEL CAÑO NN2

AQ-148- RES1-HDR-CNN2-V.1

Febrero de 2024

AQUADATOS S.A.
NIT: 830.062.201-0
aquadatos@aquadatos.com
Villavicencio, Meta

www.aquadatos.com

aquadatos@aquadatos.com

PROYECTO:		
ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, AMPLIACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE OBRAS DE REDES E INFRAESTRUCTURA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO EN LOS MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DEL META		
DIRECTOR DE PROYECTO: Mauricio Cruz Gómez	**CLIENTE:** EDESA S.A E.S.P	**CONTRATO No:** 081 de 2023

TITULO DEL DOCUMENTO:	**INFORME DE ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y DE SOCAVACIÓN DEL CAÑO NN2** – DEL SUBPROYECTO "ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DEL EMISARIO FINAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO DISTRITO OCCIDENTAL DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DEL RESTREPO, META"
CÓDIGO:	**AQ-148- RES1-HDR-CNN2-V.1**

ELABORÓ:	**REVISÓ:**	**APROBÓ:**
NOMBRE: Mauricio Cruz Gómez **CARGO:** Especialista Hidráulico	**NOMBRE:** Sergio Andrés Camargo Guarín **CARGO:** Coordinador	**NOMBRE:** Mauricio Cruz Gómez **CARGO:** Director de Proyectos
FECHA: 16/02/2024	**FECHA**: 19/02/2024	**FECHA**: 21/02/2024

INTERVENTORÍA	
REVISÓ:	**APROBÓ:**
NOMBRE: José Carlos Vergara Mendoza **CARGO:** Ingeniero Hidráulico	**NOMBRE:** Alexander Lucumi Diaz **CARGO:** Director Interventoría
FECHA: 23/02/2024	**FECHA**: 26/02/2024

CUADRO DE CONTROL

Versión	Descripción Modificación
1	Emisión del documento

	Versión					
	1					
Elaboró:	Mauricio Cruz Gómez (Especialista Hidráulico)					
Fecha:	16-02-2024					
Revisó:	Sergio Andrés Camargo Guarín (Coordinador)					
Fecha:	19-02-2024					
Aprobó:	Mauricio Cruz Gómez (Director de Proyecto)					
Fecha:	21-02-2024					

SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE AQUADATOS	
VERSIÓN DE LA PLANTILLA	FECHA DE VIGENCIA DE LA PLANTILLA
1	14/05/2022

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 7
2 ALCANCE DEL ESTUDIO 8
3 DOCUMENTOS DE REFERENCIA 9
4 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 10
4.1 CORRIENTE HÍDRICA 12
5 CARACTERIZACIÓN 13
5.1 PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA 13
5.1.1 DELIMITACIÓN CUENCA HIDROGRÁFICA 13
5.1.2 ÁREA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA 15
5.1.3 PERÍMETRO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA 15
5.1.4 CENTROIDE DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA 16
5.1.5 FORMA DE LA CUENCA 16
5.2 PARÁMETROS RED HÍDRICA 18
5.2.1 ORDEN DE LA CORRIENTE 18
5.2.2 DENSIDAD DE DRENAJE 18
5.2.3 EXTENSIÓN MEDIA 18
5.2.4 SINUOSIDAD 19
5.3 PARÁMETROS RELIEVE 20
5.3.1 PENDIENTE DE LA CUENCA 20
5.3.2 CURVA HIPSOMÉTRICA 21
5.3.3 PENDIENTE MEDIA CAUCE PRINCIPAL 22
5.3.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN 23
5.3.5 TIPOS DE SUELO 23
6 ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO – PLUVIOMÉTRICO 26
6.1 INFORMACIÓN HIDROMETEREOLÓGICA 26
6.1.1 PRECIPITACIÓN MEDIA TOTAL MENSUAL A NIVEL MULTIANUAL 27
6.1.2 PRECIPITACIÓN MEDIA MÁXIMA EN 24 H MENSUAL A NIVEL MULTIANUAL 28
6.1.3 PRECIPITACIÓN HISTÓRICA ANUAL 29
7 CAUDALES DE DISEÑO 32
7.1 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE VALORES MÁXIMOS 34
7.1.1 PRUEBAS DE BONDAD DEL AJUSTE SEGÚN KOLMOGOROV – SMIRNOV 34
7.1.2 RESUMEN DE LA PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV 34

7.2 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA 35
7.3 HIETOGRAMAS DE DISEÑO 47
7.4 PERIODO DE DISEÑO 47
7.5 CN Y ABSTRACCIONES INICIALES 48
7.6 CAUDALES DE CRECIENTE 52
8 MODELACIÓN HIDRAULICA 54
8.1 SIMULACIÓN HEC – RAS 54
8.1.1 COEFICIENTE DE MANNING 54
8.1.2 DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES 55
8.1.3 SECCIONES TRANSVERSALES 55
8.1.4 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN 57
8.1.5 ANALISIS DE RESULTADOS 61
8.1.6 TABLAS DE RESUMEN 62
9 SOCAVACIÓN 64
9.1 SOCAVACIÓN 64
9.1.1 MÉTODOLOGIA SOCAVACIÓN GENERAL DE LISCHTVAN-LEVEDIEV (1956) 64
9.1.2 MÉTODO DE MAZA 67
9.1.3 MÉTODO DE CAMPO – ORDOÑEZ 67
10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 71
CONCLUSIONES 71
11 ANEXOS 72
ANEXO 1. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN (VER EN DIGITAL) 72
ANEXO 2. CALCULOS HIDROLOGICOS (VER EN DIGITAL) 72
ANEXO 3. MODELOs HEC-HMS (VER EN DIGITAL) 72
ANEXO 4. SHAPEFILES (VER EN DIGITAL) 72
ANEXO 5. MODELACIONES HIDRÁULICAS. EN HEC-RAS (VER EN DIGITAL) ... 72
ANEXO 6. CALCULOS DE SOCAVACIÓN (VER EN DIGITAL) 72
ANEXO 7. PLANO MANCHA DE INUNDACIÓN (VER EN DIGITAL Y FISICO) 72
12 BIBLIOGRAFÍA 73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1. Coordenadas de la cuenca caño nn2. 16
Tabla 5-2. Clasificación de cuencas de acuerdo con su Kc. 16
Tabla 5-3. Clasificación de cuencas de acuerdo con su Kc. 17
Tabla 5-4. Clasificación de cuencas de acuerdo con su Ia. 17
Tabla 5-5. Clasificación de cuencas de acuerdo con su Dd. 18
Tabla 5-6. Clasificación de cuencas de acuerdo con su pendiente media. 20
Tabla 5-7. Curva hipsométrica Cuenca Caño nn2. 22
Tabla 5-8. Tiempo de concentración Cuenca Caño nn2. 23
Tabla 5-9. Tipos de suelo cuenca caño nn2. 24
Tabla 5-10. Cuadros resumen Cuenca Caño nn2. 24
Tabla 6-1. Características estación pluviométrica. 27
Tabla 6-2. Precipitación media total mensual a nivel multianual. 27
Tabla 6-3. Precipitación media máxima en 24 horas mensual a nivel multianual. 28
Tabla 6-4. Precipitación total histórica y máxima anual. 29
Tabla 5. Registros analizados máximos mensuales a nivel multianual 32
Tabla 6. Parámetros y resultados estadísticos 33
Tabla 7. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov 35
Tabla 8. Distribución de probabilidades pluviométricas 36
Tabla 9. Cálculo de variables probabilísticas 36
Tabla 10. Cálculo de precipitaciones diarias máximas 37
Tabla 11. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos en un día 37
Tabla 12. Intensidades de lluvia para diferente duración en un día. 38
Tabla 13. Regresión IDT para TR=2 años 38
Tabla 14. Regresión IDT para TR=3 años 39
Tabla 15. Regresión IDT para TR=5 años 39
Tabla 16. Regresión IDT para TR=10 años 39
Tabla 17. Regresión IDT para TR=15 años 40
Tabla 18. Regresión IDT para TR=20 años 40
Tabla 19. Regresión IDT para TR=25 años 40
Tabla 20. Regresión IDT para TR=50 años 41
Tabla 21. Regresión IDT para TR=100 años 41
Tabla 22. Regresión IDT para TR=500 años 41
Tabla 23. Regresión potencial 42
Tabla 24. Curvas IDF Estación Buenavista 44
Tabla 25. Hietogramas de precipitaciones de diseño, tiempo 30 minutos 47
Tabla 7-26. Periodos de retorno Resolución 0330. 47
Tabla 7-27. Periodos de retorno INVIAS. 48
Tabla 28. Valores de números adimensionales de curva CN para diferentes usos de la tierra y condición antecedente de humedad II 49
Tabla 7-29. Tipos de suelo cuenca caño cnn2 51
Tabla 7-30. Caudales de creciente Caño nn2. 52
Tabla 8-1. Coeficiente Manning. 54
Tabla 2. Resultados hidráulicos de la corriente principal 62
Tabla 3. Valores de coeficiente de contracción 65
Tabla 4. Valores de x y z 65
Tabla 5. Valores de β 66
Tabla 6. Parámetros de la ecuación general de erosión general 66
Tabla 7. Profundidades de socavación de CAÑO N2 TR=50 AÑOS 68
Tabla 8. Profundidades de socavación de caño n2 TR=100 AÑOS 69

Tabla 9. Socavación métodos generales en el Punto de estudio TR=100 AÑOS 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1. Localización general. 10
Figura 4–2. Localización del paso elevado No.1, Restrepo-Meta 11
Figura 4-3. Localización general de la corriente hídrica caño nn2. 12
Figura 5-1. Visualización 3D cuenca hidrográfica caño nn2 14
Figura 5-2. Visualización 2D cuenca hidrográfica caño nn2. 14
Figura 5-3. Delimitación cuenca hidrográfica caño nn2 15
Figura 5-4. Red de drenaje del caño nn2. 19
Figura 5-5. Modelo digital de elevación Caño nn2 20
Figura 5-6. Mapa de pendientes cuenca caño nn2 21
Figura 5-7. Tipos de suelo Cuenca Caño nn2. 24
Figura 6-1. Localización estaciones pluviométricas 26
Figura 7-1. Punto de salida cuenca caño nn2. 52
Figura 7-2. Hidrograma de salida TR=50 años. 53
Figura 8-1. Zona de simulación hidráulica del caño nn2. 56
Figura 8-2. Modelación de la corriente principal y terreno generado. 56
Figura 8-3. Vista tridimensional de la corriente, TR=50 años. 57
Figura 8-4. Perfil de la corriente régimen supercrítico TR=50 años; TR=100 años. 58
Figura 8-5. Mapa de profundidades corriente TR=50 años (régimen supercrítico). 59
Figura 8-6. Mapa de velocidades corriente TR=50 años (régimen supercrítico). 60
Figura 8-7. Perfil de velocidades en la corriente (eje) TR=50 años; TR=100 años – régimen supercrítico. 61

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 5-1 Curva hipsométrica Cuenca Caño nn2. 22
Gráfica 6-1 Histograma de precipitación media total mensual a nivel multianual. 28
Gráfica 6-2 Histograma de precipitación media máxima en 24 horas a nivel mensual multianual. 29
Gráfica 6-3 Histograma de precipitación histórica total anual. 30
Gráfica 6-4 Histograma de precipitación histórica máxima en 24 horas anual. 31
Gráfica 6-5 Histograma de precipitación histórica total mensual. 31
Gráfica 7-1 Análisis de datos dudosos 34
Gráfica 7-2 Regresión Potencial 43
Gráfica 3. Curvas de Intensidad-Duración y Frecuencia 46

1 *INTRODUCCIÓN*

En aras de cumplir con los requerimientos dispuestos para la construcción de los pasos elevados del emisario final de alcantarillado sanitario proyectado para el municipio de Restrepo, asociado al proyecto con objeto: **"ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DEL EMISARIO FINAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO DISTRITO OCCIDENTAL DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DEL RESTREPO, META**", Se requiere realizar un estudio hidrológico, hidráulico y de socavación sobre la corriente del caño nn2. El presente documento abarca un informe que contiene las principales actividades de desarrollo del estudio.

Así, se requiere de un análisis morfométrico de la caracterización de la cuenca hidrográfica del caño nn2 y un análisis hidrológico mediante el cual se obtengan los caudales de creciente, asociados a diferentes periodos de retorno disponibles en el punto de estudio; Teniendo en cuenta la magnitud de la cuenca, se aplicó el método del SCS para la obtención de los caudales de creciente, acompañados de análisis del comportamiento de la corriente y de la mancha de inundación generada en el tramo analizado del paso elevado número 2 sobre el caño nn2 junto con las condiciones hidráulicas en dicho punto.

2 ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance del presente documento, abarca la modelación hidrológica de la cuenca hidrográfica del caño nn2 para obtener los caudales de creciente de esta misma y la modelación hidráulica de la corriente para obtener los parámetros hidráulicos y la mancha de inundación con el fin de llevar a cabo la construcción de los pasos elevados del emisario final de alcantarillado sanitario para el distrito occidental en el municipio de Restrepo, en el departamento del Meta; El documento se encuentra compuesto por los siguientes apartados principales, en los que se realizan los análisis correspondientes para dar con el objetivo final del estudio.

- ✓ Localización del punto del paso elevado no.2 del emisario final de alcantarillado residual.
- ✓ Caracterización geomorfológica de la cuenca hidrográfica.
- ✓ Análisis de los diferentes factores hidrológicos que influyen en la zona de estudio, con base en los registros históricos plasmados en la información proporcionada por el Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- ✓ Cálculo de los caudales de creciente haciendo uso de modelo lluvia – escorrentía.
- ✓ Modelación hidráulica de la corriente del caño nn2.
- ✓ Análisis resultados parámetros hidráulicos y mancha de inundación.
- ✓ Calculo profundidad de socavación en el punto del paso elevado.

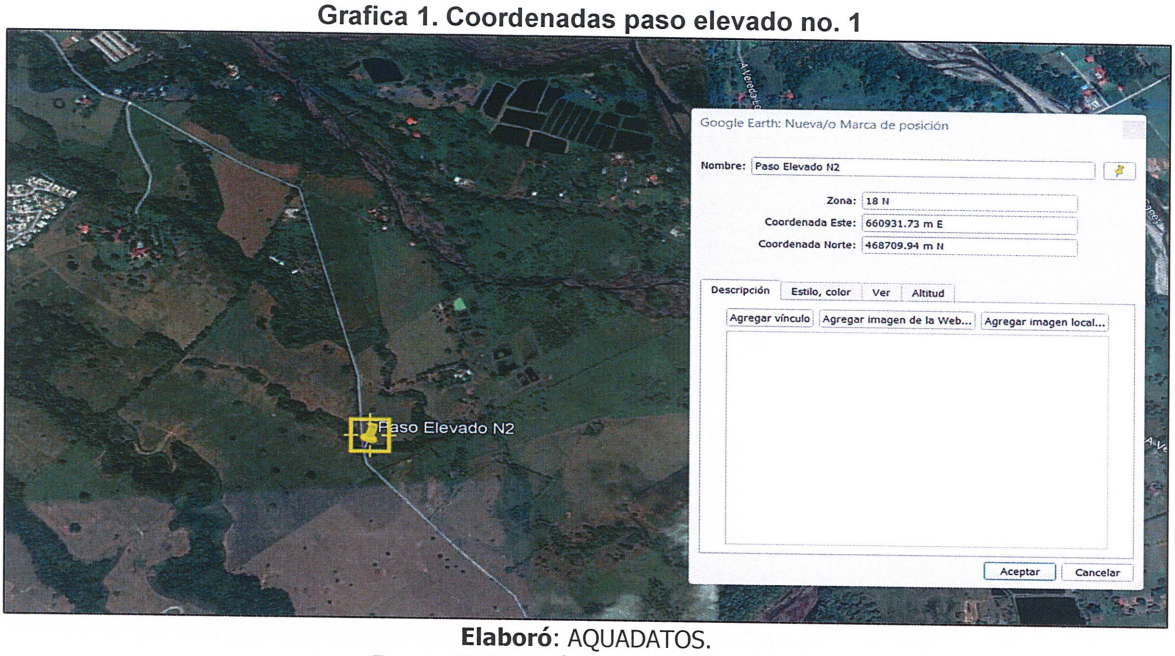
3 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Para realizar el presente estudio, la información fue recopilada por medio de las entidades encargadas de administrar la documentación; como lo son el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (**IGAC**) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (**IDEAM**), de los cuales se obtuvo toda la información cartográfica y climatológica asociada a la zona del proyecto. Se descargó información satelital correspondiente al modelo digital de elevación (**DEM**) de la zona de estudio y de sus alrededores para poder realizar el respectivo análisis morfométrico en el software ArcGIS. Con fines comparativos se emplearon con éxito las herramientas de Google Earth, para así poder obtener una identificación más precisa de la cuenca hidrográfica en el punto de estudio. Adicional a esto, se hizo uso del Manual de Drenaje Para Carreteras a cargo del Instituto Nacional de Vías (**INVIAS**) para poder obtener parámetros de diseño y servir como guía en los análisis realizados.

4 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

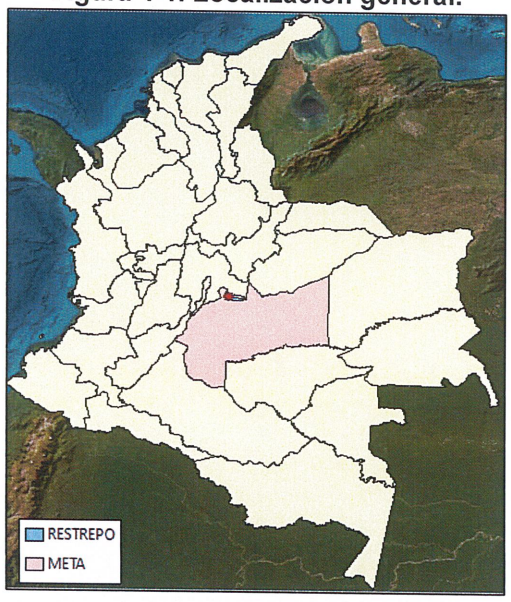
El municipio de Restrepo se encuentra localizado en la zona Norte del departamento del Meta a **15 km** de la capital del departamento (Villavicencio) en dirección Noreste. El punto de estudio se encuentra localizado aproximadamente a **2.8 km** en sentido Sur del distrito occidental casco urbano del municipio de Restrepo, sobre la corriente del caño nn2. El paso elevado del emisario final de alcantarillado sanitario de diámetro 20" se realiza en las siguientes coordenadas geográficas:

Grafica 1. Coordenadas paso elevado no. 1



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia-Google Earth

Figura 4-1. Localización general.





Fuente: Tomado de Google Earth Pro.

Figura 4–2. Localización del paso elevado No.1, Restrepo-Meta

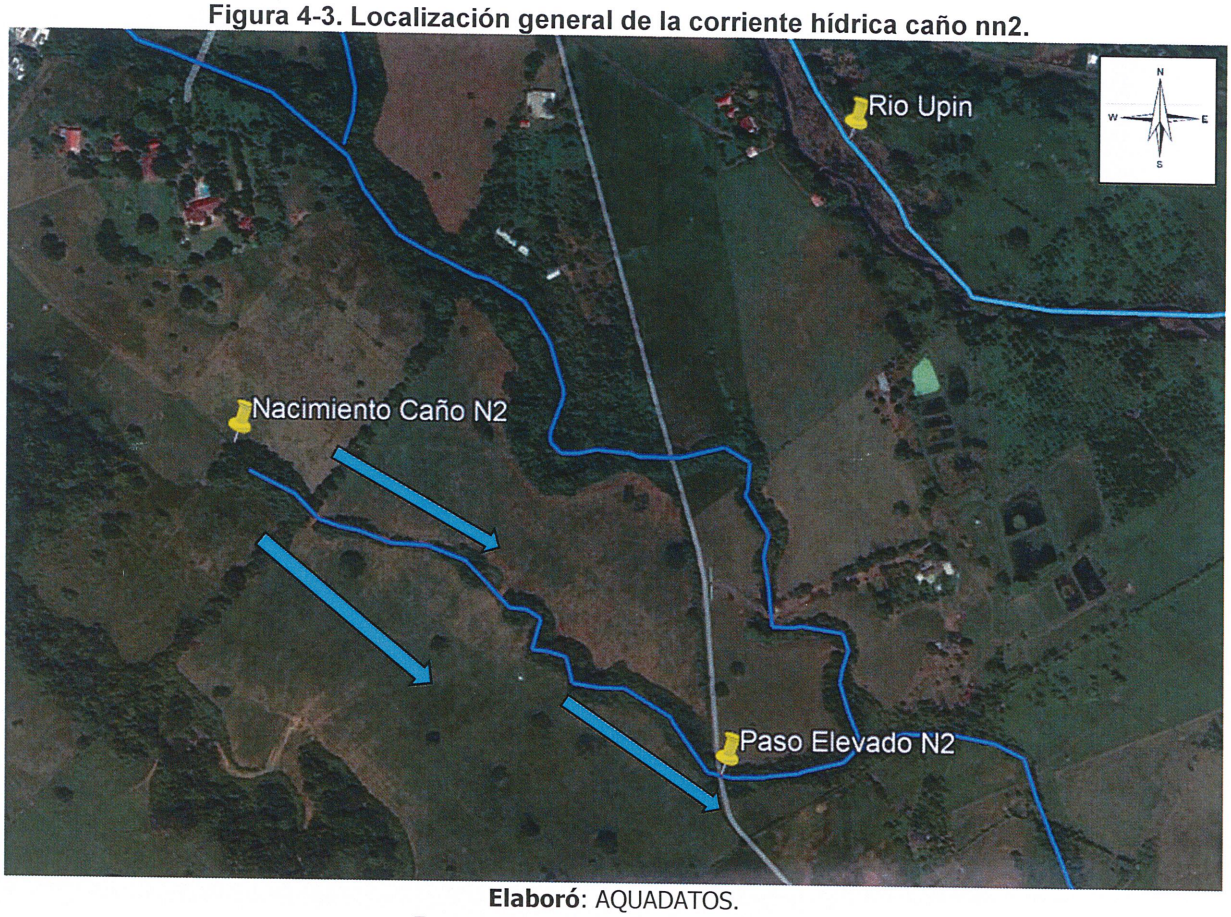


Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia-Google Earth

4.1 CORRIENTE HÍDRICA

La corriente hídrica del caño NN2 presenta su punto de nacimiento en zonas colindantes al condominio campestre El Campanario en el distrito occidental del casco urbano, específicamente en la vereda Los Balcones, aproximadamente a **1.10 km** (línea recta) en sentido Norte sur del punto del paso elevado No.2 del emisario final de aguas residuales proyectado y desemboca a unos **0.16 km** de este mismo punto en sentido Sureste sobre el caño NN1. Desde su punto de nacimiento hasta la zona de estudio atraviesa la vereda Los Balcones del distrito occidental del municipio de Restrepo. Gran parte de su recorrido se presenta una combinación de uso de suelo de pastos con cobertura buena y mala, cultivos con cobertura mala, zona de bosque y de zonas urbanas.

Figura 4-3. Localización general de la corriente hídrica caño nn2.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Tomado de Google Earth Pro.

5 CARACTERIZACIÓN

Se puede definir una cuenca hidrográfica, como un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente se descarga a través de una salida simple. En este capítulo se presentan los aspectos básicos que deben abordarse cuando se realiza la caracterización de una cuenca hidrográfica o de un área específica dentro de una cuenca. Una correcta descripción de una cuenca hidrográfica debe incluir, al menos, datos relativos a la clasificación de los cursos del agua, el área de la cuenca junto con su perímetro, la forma de esta misma, el índice de Gravelius, el factor de forma, el orden de la corriente, su densidad de drenaje, la extensión media de la cuenca o área delimitada, su sinuosidad y si el proyecto lo considera necesario la pendiente de la hoya, la elevación media de esta misma y su curva hipsométrica. La morfología de una cuenca será definida por grupos de parámetros, que sirven como referencia para la clasificación de esta:

- ✓ Parámetros de forma.
- ✓ Parámetros de red hídrica.
- ✓ Parámetros de relieve.

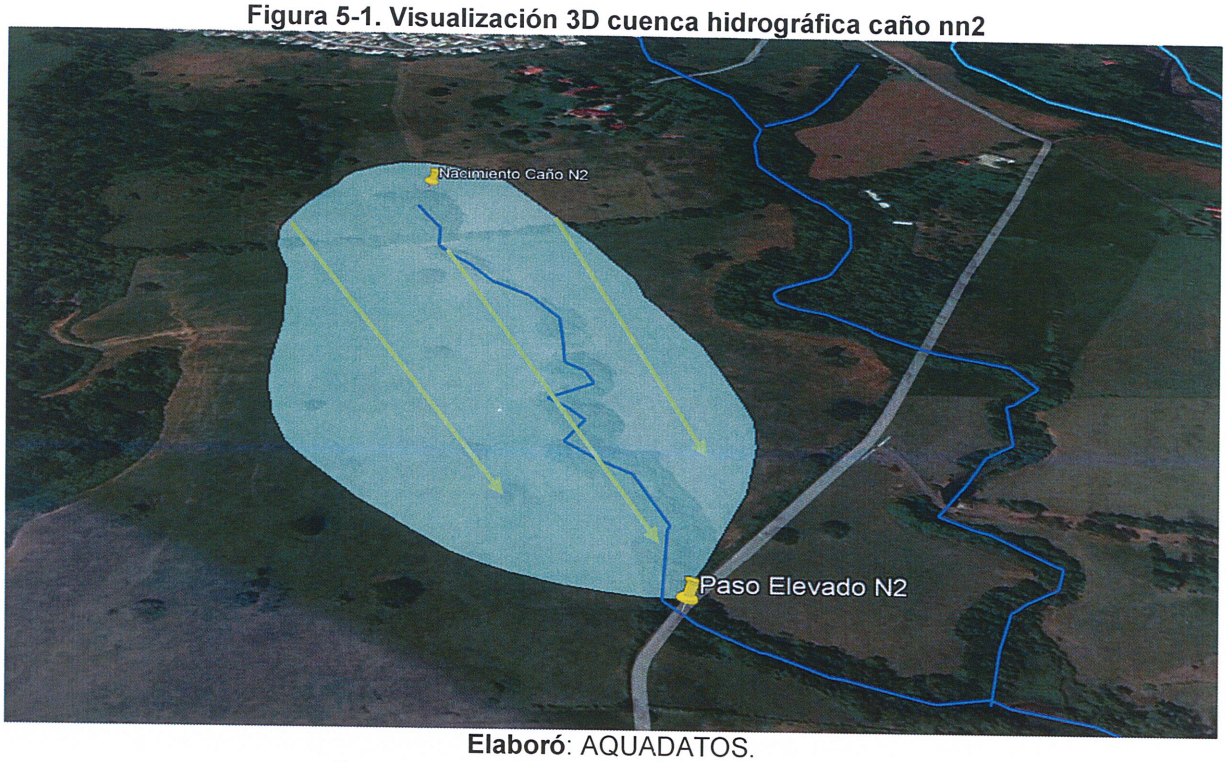
Estos parámetros son utilizados para identificar características de la cuenca y relacionarlas con otras cuencas que presentan valores parecidos, de manera que se pueda realizar una clasificación morfo métrica que agrupe varias cuencas con características similares. Para lo anterior lo primero que se debe definir es la divisoria de aguas. Entiéndase divisoria de agua como una línea imaginaria que separa las precipitaciones que caen en cuencas inmediatamente vecinas, estas se encargan de unir los puntos de máxima cota entre hoyas. Se presenta a continuación la descripción y el procedimiento para el cálculo de cada uno de los parámetros agrupados de acuerdo con lo anterior.

5.1 PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA

5.1.1 DELIMITACIÓN CUENCA HIDROGRÁFICA

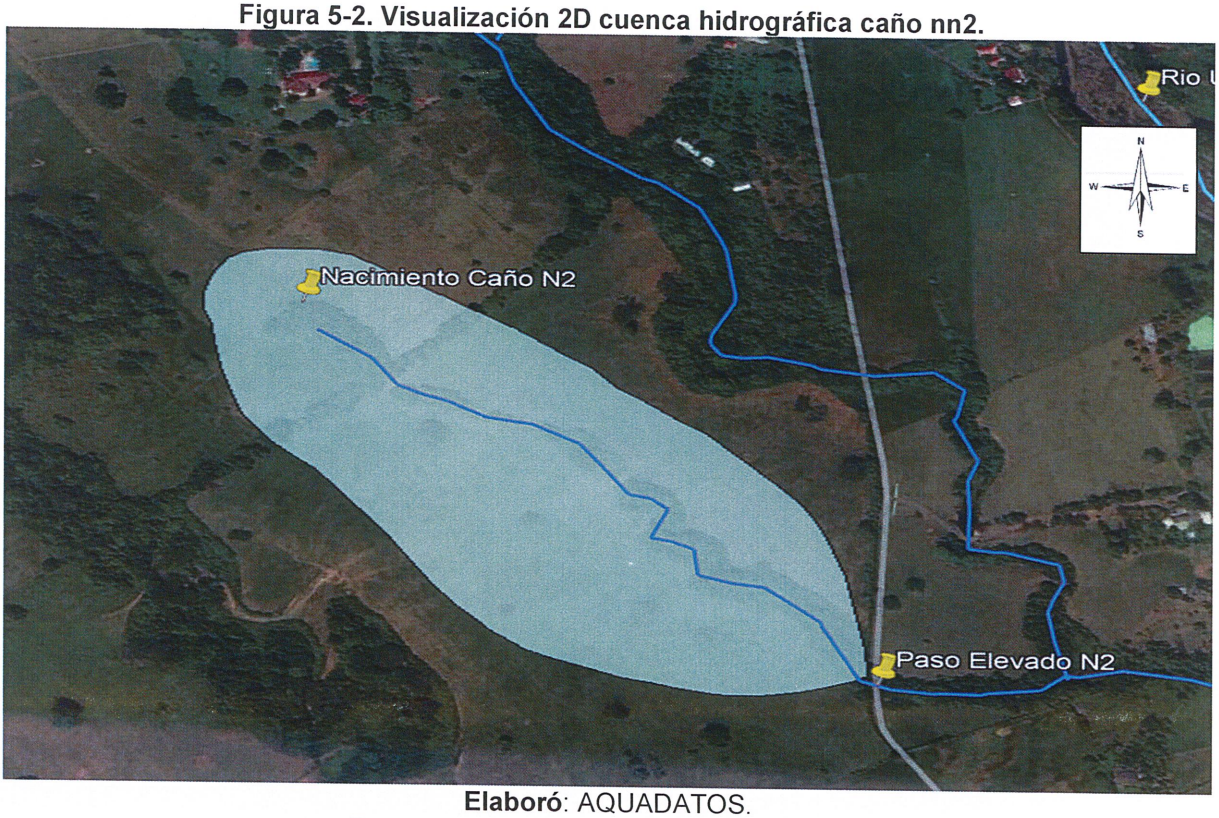
Se procedió a identificar la red de drenaje afluente al punto de estudio; La línea divisoria de la cuenca fue trazada con base en los puntos altos definidos de la zona y en las corrientes superficiales adyacentes delimitando el espacio ocupado por estas mismas en la zona de estudio. Para realizar esta delimitación se hizo uso de la información cartográfica abierta al público por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en conjunto con la información satelital del modelo digital de elevaciones del satélite ALOS PALSAR de la ASF DATA SEARCH – UNIVERSITY OF ALASKA SYSTEMS, donde este satélite es administrado por la NASA y la visualización grafica de las herramientas de Google Earth Pro.

Figura 5-1. Visualización 3D cuenca hidrográfica caño nn2



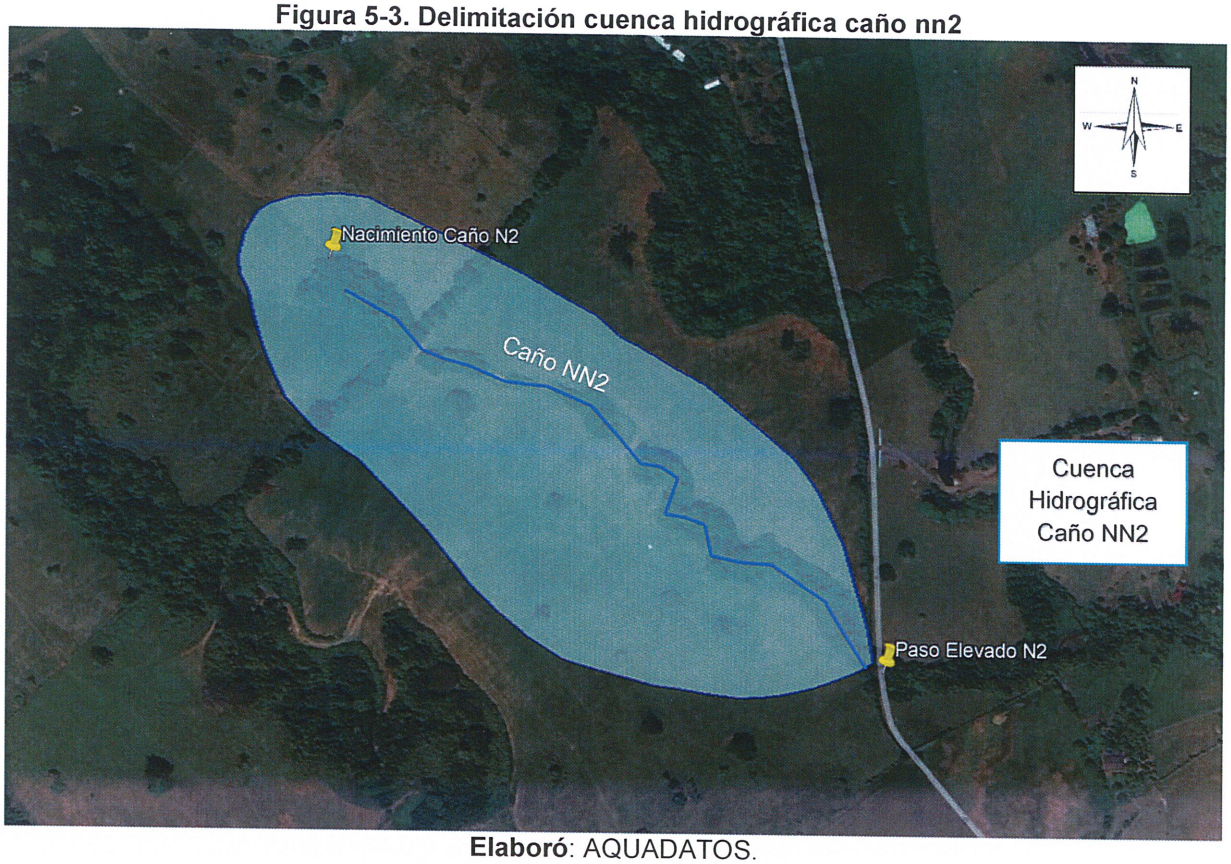
Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración propia - Google Earth Pro.

Figura 5-2. Visualización 2D cuenca hidrográfica caño nn2.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – Google Earth.

Figura 5-3. Delimitación cuenca hidrográfica caño nn2



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia - ArcGIS.

5.1.2 ÁREA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Es la proyección horizontal del área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. De acuerdo con la delimitación mostrada en el apartado **5.1.1**, se obtuvo un área de:

- ✓ **A** – 0.12 km^2 (Microcuenca Caño nn2).

5.1.3 PERÍMETRO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Se puede definir como la medida sobre un plano horizontal de la divisoria de aguas de la cuenca, es decir, la medición de la línea envolvente de cada una de las áreas de drenaje dentro de la cuenca. Informa sucintamente sobre su forma; para una misma superficie, los perímetros de mayor valor se corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas.

- ✓ **P** – 1.46 km (Microcuenca caño nn2).

5.1.4 CENTROIDE DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Tabla 5-1. Coordenadas de la cuenca caño nn2.

Coordenadas UTM		
Centroide X	m	1058278.58
Centroide Y	m	960692.29
Centroide Z	msnm	453.00

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia.

5.1.5 FORMA DE LA CUENCA

La forma de la hoya relaciona y caracteriza el tiempo de concentración, entendiendo tiempo de concentración, como el tiempo necesario para que una gota recorra desde el extremo más alejado de la cuenca hasta el punto de control evaluado. La forma difícilmente se puede expresar por medio de un índice numérico, sin embargo, se han propuesto varios coeficientes que indican la organización del drenaje dentro de la cuenca y otros factores que afectan la hidrología de la corriente, por lo tanto, se procedió a encontrar dos de los coeficientes más usados comúnmente: El índice de Gravelius o coeficiente de compacidad y el factor de forma, así:

5.1.5.1 Índice De Gravelius

Es la relación existente entre el perímetro de la hoya hidrográfica y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la hoya.

- ✓ **Kc** – 1.17 (Microcuenca Caño nn2).

Este coeficiente está relacionado con el tiempo de concentración, a medida que el coeficiente tiende a 1.0, es decir, cuando la cuenca tiende a ser redonda, aumenta la peligrosidad de la cuenca a las crecidas, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central no presentan diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto, aumenta la posibilidad de que las ondas de crecida sean continuas. De acuerdo con los coeficientes encontrados se puede clasificar la forma de la cuenca así:

Tabla 5-2. Clasificación de cuencas de acuerdo con su Kc.

Valores de Kc	Forma
1-1.25	Redonda a oval redonda
1.25-1.5	De oval redonda a oval oblonga
>1.5	De oval oblonga a rectangular oblonga

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Tomado de http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf.

Con el coeficiente obtenido de **1.17** entre la cuenca del caño nn2, se puede clasificar la cuenca como oval redonda; Este tipo de cuencas tienen un grado bajo de susceptibilidad a la torrencialidad y solo en ocasiones de eventos extremos podrían generar crecientes instantáneos, debido a los fenómenos de la precipitación continua, algo que ocurre con frecuencia en los periodos invernales que atraviesa la región.

5.1.5.2 Factor de Forma

Es la relación existente entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca hidrográfica; Intenta medir que tan alargada puede ser una cuenca, si es menor a la unidad, tendrá más baja susceptibilidad a generar avenidas en comparación a si es mayor, si se entra a comparar dos cuencas con igual área, la que tenga factor de forma más bajo, se encontrara menos propensa a crecientes.

- ✓ **Ancho medio** – 0.25 km (Microcuenca caño nn2).
- ✓ **Laxial** – 0.64 km (Microcuenca caño nn2).
- ✓ **Kf** – 0.39 (Microcuenca caño nn2).

Tabla 5-3. Clasificación de cuencas de acuerdo con su Kc.

Valores de Kf	Característica
<1	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
1	Cuadrada
>1	Tiende a ser achatada, tendencia a la ocurrencia de avenidas

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Caracterización de cuencas.

El factor obtenido indica que la cuenca es poco propensa a presentar crecidas instantáneas cuando se presenten eventos de fuertes precipitaciones a menos de que sean de manera continua.

5.1.5.3 Índice de Alargamiento

El índice de alargamiento es la relación entre la longitud axial de la cuenca y el ancho máximo de esta misma. Con él se puede definir si la cuenca estudiada es alargada o achatada de la siguiente manera:

- ✓ **Laxial** – 0.64 km (Microcuenca Caño nn2).
- ✓ **Amax** – 0.25 km (Microcuenca Caño nn2).
- ✓ **Ia** – 2.54 (Microcuenca Caño nn2).

Tabla 5-4. Clasificación de cuencas de acuerdo con su Ia.

Valores de I_a	Característica
<1	Cuenca achatada
>1	Cuenca alargada

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Caracterización de cuencas.

El índice obtenido hace alusión a una cuenca alargada, con un sistema de drenaje con buena capacidad de absorber las precipitaciones que se produzcan en la zona evitando así la generación de crecientes súbitas.

5.1.5.4 Rectángulo Equivalente

Esta suposición realiza la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de lados L (mayor) y l (menor) del mismo perímetro la cuenca analizada. Teóricamente la cuenca "rectangular" obtenida tendrá el mismo Coeficiente de Gravelius y la misma distribución actitudinal de la cuenca original.

- ✓ **L** – 0.47 km (Microcuenca Caño nn2).
- ✓ **I** – 0.25 km (Microcuenca Caño nn2).

5.2 PARÁMETROS RED HÍDRICA

5.2.1 ORDEN DE LA CORRIENTE

La clasificación del orden de la corriente es un método que asigna un orden numérico a los vínculos en una red hídrica. Este orden es un método para identificar y clasificar los tipos de arroyos basado en la cantidad de afluentes. El más usado generalmente, es el método de Strahler, el cual asigna un orden de 1 a todos los vínculos sin afluentes y se los conoce como de primero orden. La clasificación de arroyos aumenta cuando los arroyos del mismo orden intersecan. Para la cuenca de estudio Caño nn2, se cuenta con una clasificación de orden **No 1**. Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, más rápida será su respuesta a la precipitación.

5.2.2 DENSIDAD DE DRENAJE

Se puede definir la densidad de drenaje de una cuenca hidrográfica como la relación entre la longitud de los cursos totales de agua que conforman la cuenca y su área total. Se considera la noción de densidad de drenaje para caracterizar cuantitativamente la red hidrográfica de la cuenca, para obtener información de las características físicas de los materiales sobre los cuales se ha desarrollado, además, aclara el grado de relación entre el tipo de red de drenaje y la clase de escurrimiento dominante. La densidad de drenaje nos muestra si las cuencas hidrográficas están pobre o bien drenadas y entre mayor sea la magnitud de la densidad de drenaje, más rápida será la respuesta de evacuación de avenidas torrenciales de la cuenca.

Tabla 5-5. Clasificación de cuencas de acuerdo con su Dd.

Dd (km/km2)	Clase
<1	Baja
1-2	Moderada
2-3	Alta
>3	Muy Alta

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Caracterización de cuencas.

- ✓ **Ltotal** – 0.61 km (Microcuenca Caño nn2).
- ✓ **Dd** – 5.06 km/km^2 (Microcuenca Caño nn2).

5.2.3 EXTENSIÓN MEDIA

La extensión media de una cuenca se define como la distancia promedio que el agua de lluvia tendría que escurrir sobre los terrenos de una cuenca, en caso de que la escorrentía se diese en línea recta desde donde la lluvia cayó hasta el punto más próximo al lecho de una corriente cualquiera de la hoya. Para simplificaciones de cálculos se asume la forma de la hoya como

rectangular. Valores altos de este parámetro son indicativos de cuencas con mayor amenaza de deslizamiento superficial.

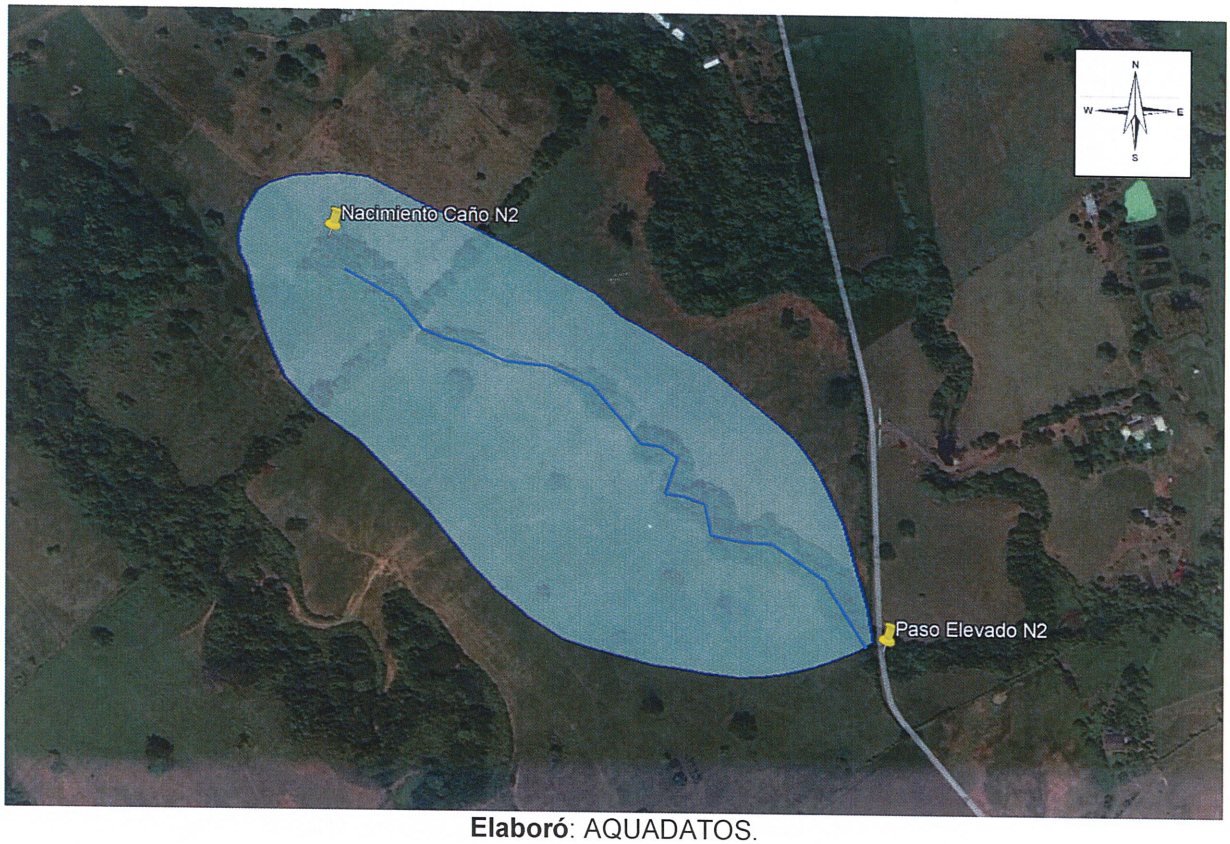
- ✓ **I** – 0.78 km (Microcuenca Caño nn2).

5.2.4 SINUOSIDAD

La sinuosidad de una cuenca se puede definir como la relación entre la longitud del rio principal medido a lo largo del cauce (L) y la longitud del valle del rio principal medida en línea curva o recta (Lt). Su valor da una medida de la velocidad de la escorrentía superficial. Entre más cercano a la unidad es más probable que se generen altas velocidades en el caño, lo que puede provocar problemas de socavación y/o erosión en sitios vulnerables.

- ✓ **Lcp** – 0.63 km (Microcuenca Caño nn2).
- ✓ **Sn** – 0.97 km (Microcuenca Caño nn2).

Figura 5-4. Red de drenaje del caño nn2.

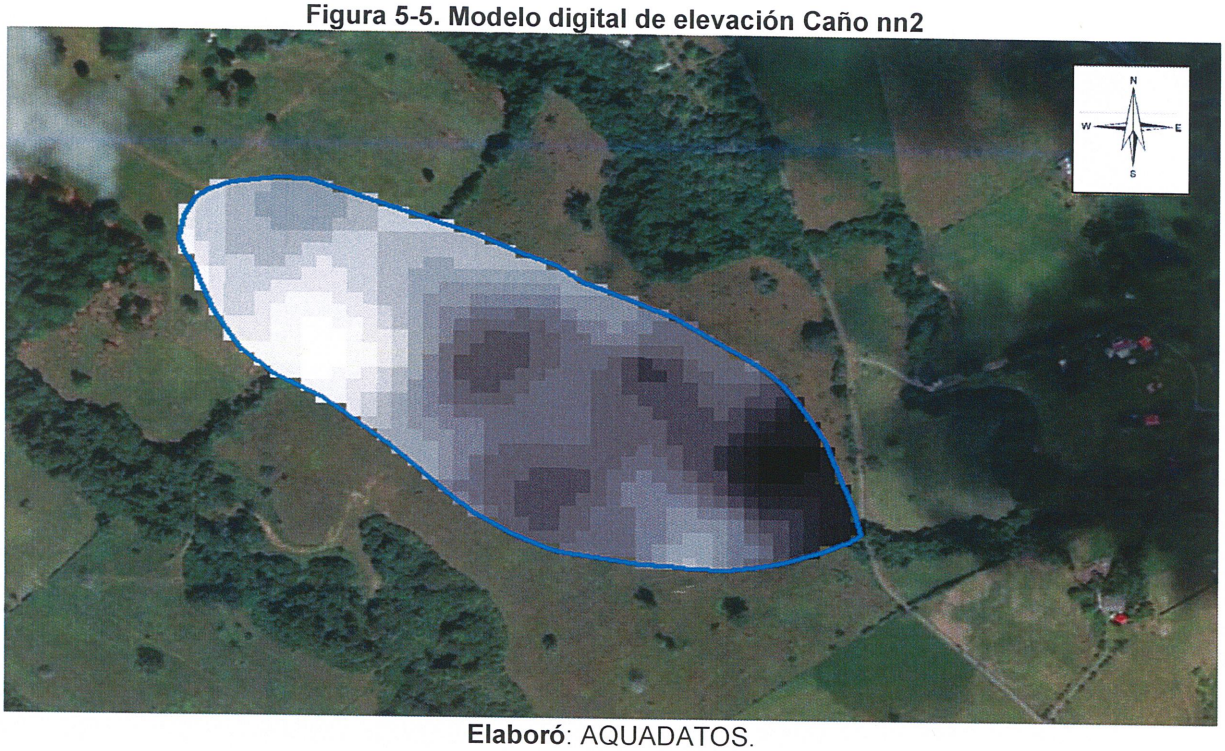


Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia - ArcGIS.

5.3 PARÁMETROS RELIEVE

Son tal vez los parámetros de mayor importancia para la caracterización, dado que el relieve de una cuenca influye en mayor medida en la respuesta hidrológica con respecto a la forma de esta misma; De manera general se puede afirmar que a mayor relieve la producción de escorrentía superficial se lleva a cabo en menores duraciones de tiempo. Los parámetros fueron obtenidos a partir del modelo digital de elevación obtenido de la zona.

Figura 5-5. Modelo digital de elevación Caño nn2



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – ArcGIS

5.3.1 PENDIENTE DE LA CUENCA

La pendiente de la cuenca se puede definir como la variación de la inclinación de está; controla en buena parte la velocidad de la escorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales. Su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión o socavación), ya que, en zonas con altas pendientes, son más frecuentes los problemas de erosión, por el contrario, en regiones planas los problemas son principalmente relacionados al drenaje y la sedimentación. De acuerdo con el valor de su pendiente las cuencas se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 5-6. Clasificación de cuencas de acuerdo con su pendiente media.

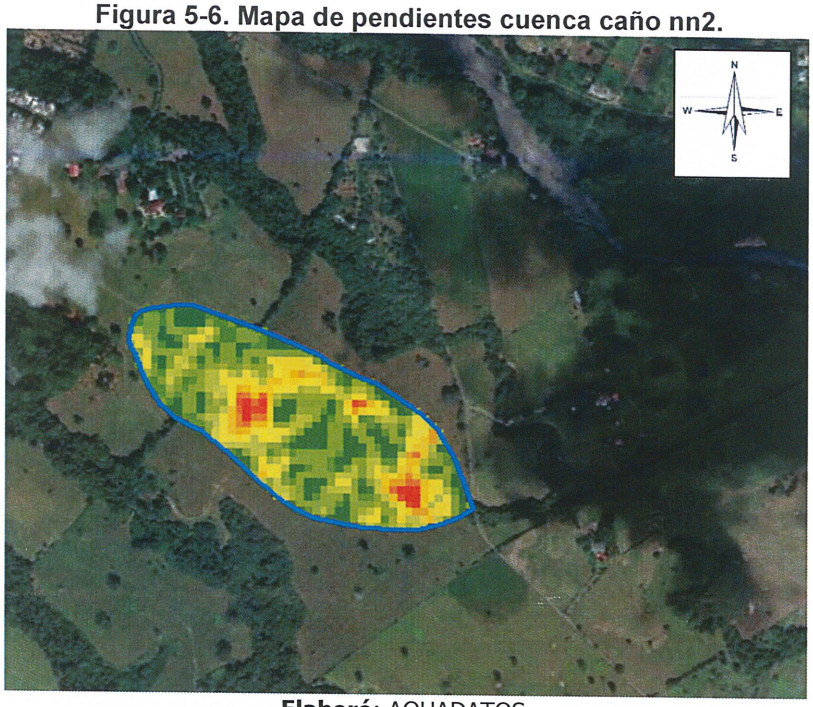
Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0-2	Plano
2-5	Suave
5-10	Medianamente accidentado
10-15	Accidentado

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Caracterización de cuencas.

Se obtuvo los siguientes mapas de pendientes para la cuenca del caño nn2

Figura 5-6. Mapa de pendientes cuenca caño nn2.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia - ArcGIS.

- ✓ **Smedia** – 31.11 %.

De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que el terreno de ambas cuencas es de una zona media a alta, lo que da indicios de que las velocidades en la zona pueden llegar a ser promedio en la zona alta de la cuenca y que esta cuenta con un grado medio de respuesta a las precipitaciones (mayor en la zona montañosa); Se evidencia que las altas pendientes se presentan durante el transcurso de la corriente. Este resultado fue tenido en cuenta a la hora de analizar las condiciones hidrológicas de la zona.

5.3.2 CURVA HIPSOMÉTRICA

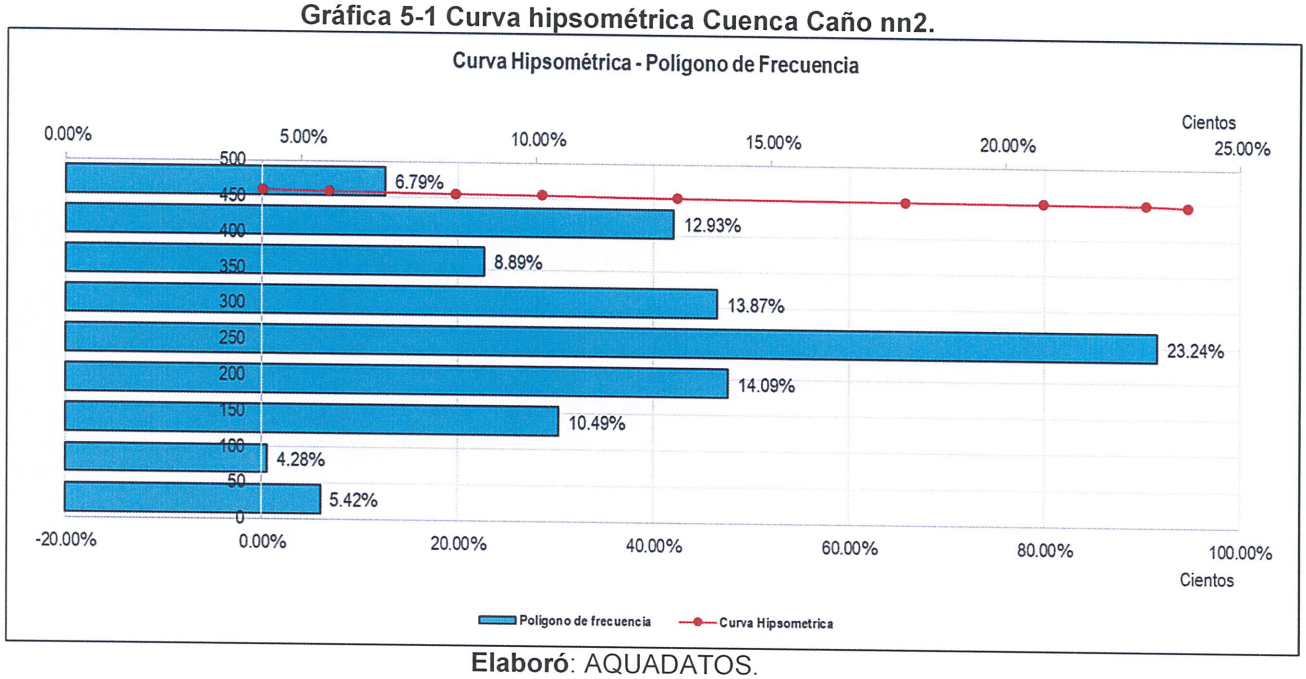
Se puede definir como la representación gráfica del relieve de la cuenca del caño nn2. Representa el estudio de la variación de los varios terrenos de la hoya con respecto al nivel medio del nivel del mar. Los resultados indican que se trata de una cuenca conformada por un cauce viejo, con tendencia a valles planos y una elevación media de **454 msnm.**

Tabla 5-7. Curva hipsométrica Cuenca Caño nn2.

Min	Max	Promedio	Áreas (Km²)	Área Acumulada	Área Sobre la Curva	Áreas en %	Área Sobre la Curva (%)
446	447	446.5	0.006513	0.01	0.11	5.42	94.58
447	449	448	0.005146	0.01	0.11	4.28	90.30
449	450	449.5	0.012604	0.02	0.10	10.49	79.81
450	451	450.5	0.016934	0.04	0.08	14.09	65.72
451	453	452	0.027926	0.07	0.03	23.24	42.48
453	455	454	0.016662	0.09	0.03	13.87	28.61
455	456	455.5	0.010685	0.10	0.02	8.89	19.72
456	458	457	0.015539	0.11	0.01	12.93	6.79
458	460	459	0.008159	0.12	0.00	6.79	0.00
TOTAL			0.120168			100	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia - ArcGIS.

Gráfica 5-1 Curva hipsométrica Cuenca Caño nn2.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

5.3.3 PENDIENTE MEDIA CAUCE PRINCIPAL

Es sabido que la velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua depende de la pendiente de sus canales fluviales. A mayor pendiente, mayor velocidad; para el caso de estudio, se han promediado los datos obtenidos con el perfil de elevación generado con el modelo digital de elevación, así, la pendiente media de la corriente principal tiene una magnitud de 4.66%.

5.3.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración de una cuenca puede ser definido como el tiempo que se necesita para que la escorrentía superficial llegue al punto bajo consideración desde la parte más apartada del área de drenaje. Aunque actualmente existe una cantidad bastante alta de fórmulas y ecuaciones usadas para hallar el tiempo de concentración, se calculó el promedio entre las que se consideran las más adecuadas para el tamaño de esta cuenca, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5-8. Tiempo de concentración Cuenca Caño nn2.

ECUACIONES		
KIRPICH	0.07101	hr
TEMEZ	0.10727	hr
JOHN CROSS	0.48358	hr
GIANDOTTI	0.20903	hr
SCS RANCER	0.19371	hr
V.T. CHOW	0.28910	hr
CUERPO ING. USA	0.24008	hr
CALIFORNIA	0.07071	hr
HATHWAY	0.56968	hr
EC. FED. AVIATION	0.39512	hr
EC. RETARDO SCS	0.15287	hr
PROMEDIO	0.25292	hr

Elaboró: AQUADATOS
Fuente: Elaboración Propia.

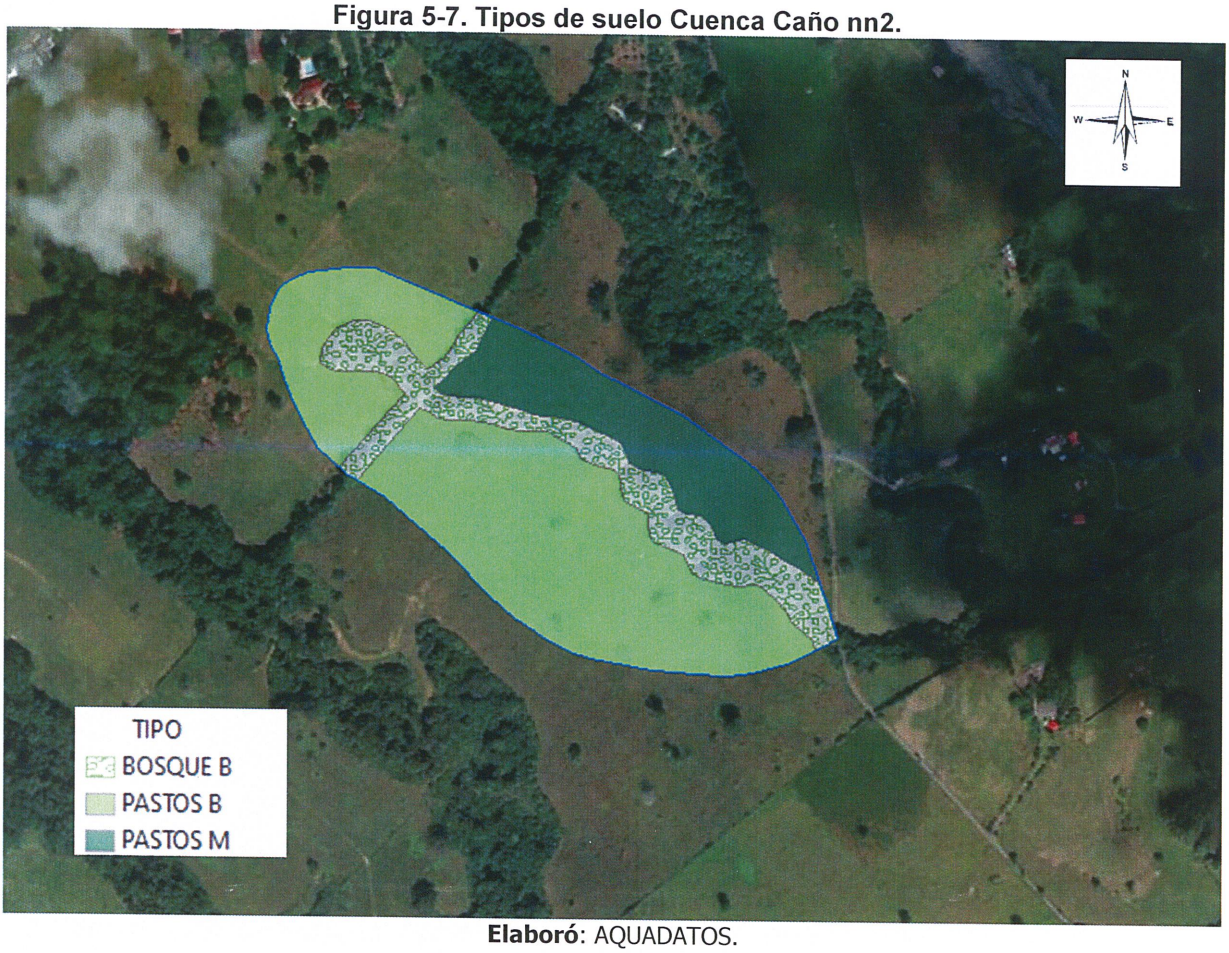
- ✓ **Tc** – 15.18 minutos.

5.3.5 TIPOS DE SUELO

Una cuenca puede tener diversos usos de suelo:

- Agricultura: Tierras cultivables para cultivos diversos.
- Zonas urbanas: Áreas densamente pobladas con viviendas, comercios e industrias.
- Bosques: Importantes para la biodiversidad y la regulación del agua.
- Áreas protegidas: Reservas naturales para conservar ecosistemas sensibles.
- Industria: Áreas con instalaciones de procesamiento y fábricas.
- Zonas de recreación: Espacios para actividades al aire libre.
- Ganadería: Pastizales dedicados al pastoreo de ganado.
- Conservación del agua: Áreas enfocadas en la gestión sostenible de recursos hídricos.
- La planificación adecuada es esencial para equilibrar las necesidades humanas y la conservación del medio ambiente.

Figura 5-7. Tipos de suelo Cuenca Caño nn2.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – IGAC.

Tabla 5-9. Tipos de suelo cuenca caño nn2.

TIPO DE USO	ÁREA (HA)	%
Bosque de cobertura buena	0.0228	0.189
Cultivo de cobertura buena	0.0000	0.000
Cultivo de cobertura mala	0.0000	0.000
Pastos de cobertura buena	0.0735	0.610
Pastos de cobertura mala	0.0242	0.201
Zona urbana	0	0.000

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5-10. Cuadros resumen Cuenca Caño nn2.

DATOS DE LA CUENCA		
GEOMETRIA DE LA CUENCA		
Área	Km²	0.12
Perímetro	km	1.46
Ancho	km	0.25
Largo	km	0.639
Valores de las Cotas		
Cota mínima	msnm	446
Cota Máxima	msnm	460

Coordenadas UTM		
Centroide X	m	1058278.58
Centroide Y	m	960692.29
Centroide Z	msnm	453.00
Altitudes de la cuenca		
Altitud Media	msnm	453
Altitud más frecuente	msnm	452
Altitud de frecuencia (1/2)	msnm	452.77
Pendiente de la cuenca		
Pendiente de la cuenca	%	31.11
Hidrografía		
Longitud del Cauce Principal	km	0.610
Orden de la red Hídrica	Adimensional	1.000
Longitud de la red Hídrica	km	0.61
pendiente promedio de la red hídrica	%	4.66

Parámetros geomorfológicos de la cuenca			
Nombre del Parámetro	**símbolo**	**Valor**	**Unidad**
Factor Forma	F	0.39	S/N
índice de Gravelious (Compacidad)	K	1.17	S/N
Rectangulo Equivalente (Lado Mayor)	L	0.47	km
Rectangulo Equivalente (Lado Menor)	l	0.25	km
Densidad de Drenaje	Dd	5.06	u/km²
índice de pendiente	Ip	4.23	S/N
índice de alargamiento	Ia	2.54	S/N
Extensión media	E	0.78	S/N
Sinuosidad	S	0.97	S/N

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia.

6 ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO – PLUVIOMÉTRICO

6.1 INFORMACIÓN HIDROMETEREOLÓGICA

Para realizar un estudio hidrológico, es necesaria la obtención de los registros históricos de precipitaciones anuales y precipitaciones máximas con el paso de los años en la zona de estudio, haciendo uso de los datos suministrados de la estación pluviométrica Buenavista a cargo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Para obtener los caudales de crecientes de diseño, primeramente, se ubicaron las estaciones pluviométricas de la zona que bordea el proyecto y posteriormente se realizó el análisis con la que tiene mayor influencia en la zona de estudio.

Figura 6-1. Localización estaciones pluviométricas.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: IDEAM-Datos Abiertos

Se observa en la figura previa que las precipitaciones en el área de drenaje se ven influenciadas por la estación pluviométrica: **Estación Buenavista con código 35030090.**

Tabla 6-1. Características estación pluviométrica.

Características Estación	
Código Estación	35030090
Nombre	Buenavista
Tipo	Convencional
Categoría	Pluviométrica
Estado	Activa
Departamento	Meta
Municipio	Restrepo
Latitud	4.27
Longitud	-73.618
Altitud	1280
Fecha Instalación	15/03/1994
Fecha Suspensión	-

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – IDEAM Datos Abiertos.

Es importante conocer gráficamente el comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio a través de los años; la mejor herramienta para representar dicho comportamiento es haciendo uso de histogramas, donde se relacionen las variables producidas históricamente junto con los años y los meses, para así entender la distribución que podría llegar a seguir en esta zona. Dicho esto, a continuación, se muestran los histogramas que se han creado haciendo uso de la información recolectada por medio del IDEAM.

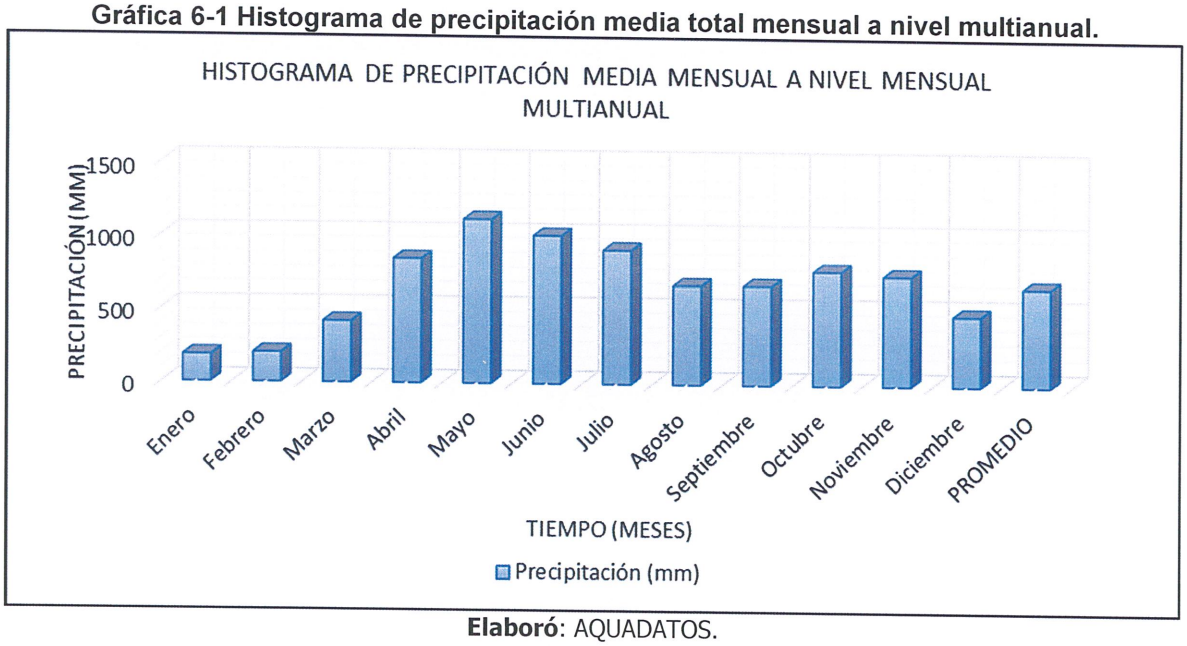
6.1.1 PRECIPITACIÓN MEDIA TOTAL MENSUAL A NIVEL MULTIANUAL

Tabla 6-2. Precipitación media total mensual a nivel multianual.

ESTACION BUENAVISTA (1993-2022)		
MES	**Pmedia (mm)**	**Pmax (mm)**
Enero	184.74	578 **(2015)**
Febrero	201.45	568.2 **(1999)**
Marzo	416.39	839.8 **(2012)**
Abril	843.16	1216 **(2016)**
Mayo	1114.34	1688 **(1994)**
Junio	1005.03	1418 **(2021)**
Julio	910.27	1288 **(2018)**
Agosto	673.88	1184.7 **(2016)**
Septiembre	674.41	905 **(1994)**
Octubre	775.91	1074.1 **(1998)**
Noviembre	745.40	1144 **(2011)**
Diciembre	478.20	926 **(2011)**
PROMEDIO	668.60	
ANUAL	8023.18	-

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – IDEAM.

Gráfica 6-1 Histograma de precipitación media total mensual a nivel multianual.



Elaboró: AQUADATOS.

La gráfica anterior muestra los valores promedios de las precipitaciones totales mensuales medidas a lo largo de la historia en la Estación Buenavista, se puede observar entonces que en promedio el periodo en el que se presentan mayores lluvias corresponde a **abril – junio,** alcanzando un máximo de **1114.34 mm** para el mes de **mayo** y el periodo con menos lluvias corresponde a **diciembre – febrero,** siendo **enero** el más seco con un valor de **184.74 mm**; Los registros muestran un valor máximo de **1688 mm** medidos en el mes de **abril** del año **1994** y en cuanto a las precipitaciones mínimas, se han registrado valores de lluvia cercanos a cero para los meses de **enero y febrero**.

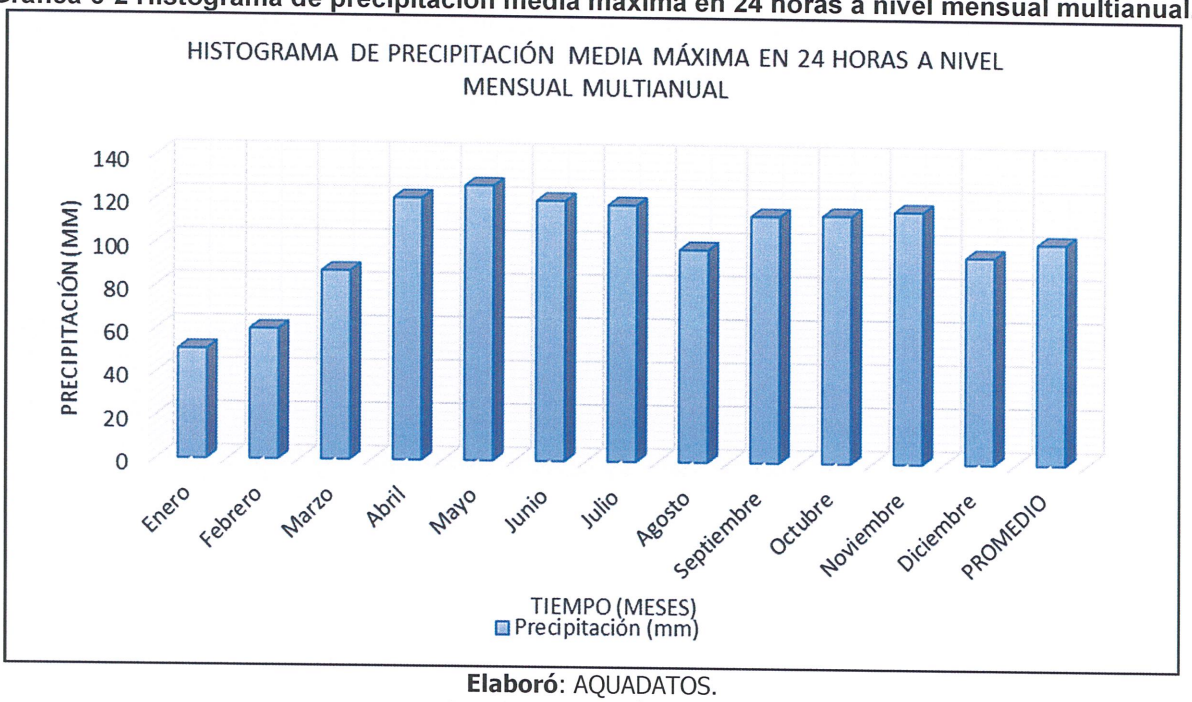
6.1.2 PRECIPITACIÓN MEDIA MÁXIMA EN 24 H MENSUAL A NIVEL MULTIANUAL

Tabla 6-3. Precipitación media máxima en 24 horas mensual a nivel multianual.

PRECIPITACIÓN MEDIA MÁXIMA EN 24 H MENSUAL A NIVEL MULTIANUAL (mm)	
MES	E. BUENAVISTA (1994-2022)
Enero	50.70
Febrero	60.04
Marzo	86.94
Abril	120.71
Mayo	126.69
Junio	119.91
Julio	118.23
Agosto	97.90
Septiembre	113.69
Octubre	114.14
Noviembre	116.26
Diciembre	95.41
PROMEDIO	101.72
MAX	126.69

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica 6-2 Histograma de precipitación media máxima en 24 horas a nivel mensual multianual.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia.

La gráfica anterior muestra los valores promedios de las precipitaciones máximas producidas en 24 horas medidas a lo largo de la historia, se observa que en promedio el periodo en el que se presentan las lluvias con mayor intensidad corresponde nuevamente a **abril – junio,** alcanzando un máximo de **126.69 mm** para el mes de **mayo**; Adicional a lo anterior los registros muestran un valor máximo de **198 mm** medidos en el mes de **julio** del año **2004.** Estos factores deben ser tenidos en cuenta a la hora de obtener los caudales máximos que puedan llegar a afectar la estabilidad de las obras proyectadas.

6.1.3 PRECIPITACIÓN HISTÓRICA ANUAL

Frente a las tres gráficas siguientes se pueden hacer los siguientes comentarios al respecto: El valor promedio de la precipitación total anual generada a lo largo del rango evaluado es de **8023.18 mm** con un máximo de **9122.35 mm** producidos en el año **1994** y un valor mínimo de **7218.40 mm** medidos en el año **2007,** se observa un comportamiento bimodal con tendencia actual a un incremento en las lluvias; Por otro lado, el valor promedio de las precipitaciones máximas anuales en el rango evaluado ha sido de **149.86 mm** y el evento de precipitación máxima registrada en toda la historia en esta estación es de **198 mm** con fecha del año **2004,** dichos valores serán tenidos en cuenta para el cálculo de los caudales máximos producidos en cada zona.

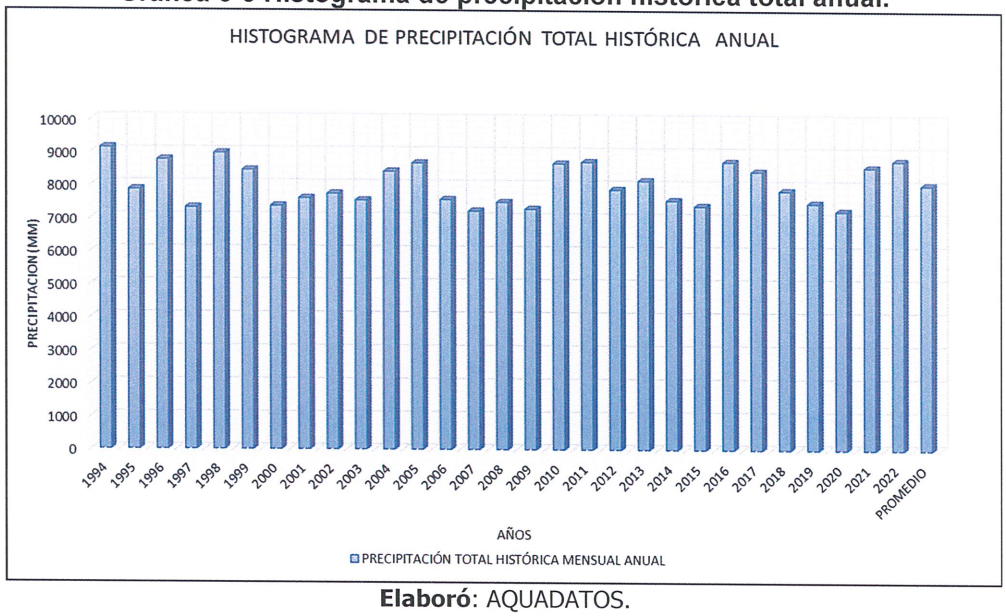
Tabla 6-4. Precipitación total histórica y máxima anual.

PRECIPITACIONES TOTALES Y MÁXIMAS ANUALES		
AÑO	PTOTAL HISTORICA ANUAL	PMAX HISTORICA ANUAL
1994	9122.35	180.00
1995	7852.40	135.00
1996	8760.50	187.00

PRECIPITACIONES TOTALES Y MÁXIMAS ANUALES		
1997	7305.40	154.00
1998	8964.50	167.90
1999	8447.60	140.00
2000	7358.90	177.00
2001	7598.00	155.00
2002	7735.40	152.00
2003	7534.10	173.00
2004	8414.21	198.00
2005	8671.20	158.00
2006	7563.41	134.00
2007	7218.40	147.00
2008	7484.40	143.00
2009	7283.30	138.00
2010	8667.50	138.00
2011	8717.60	138.00
2012	7875.30	137.00
2013	8144.20	138.00
2014	7546.00	138.00
2015	7377.30	150.00
2016	8726.70	145.00
2017	8430.41	136.00
2018	7846.10	136.00
2019	7468.00	135.00
2020	7232.00	140.00
2021	8563.00	136.00
2022	8764.00	140.00
PROMEDIO	8023.18	149.86

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – IDEAM.

Gráfica 6-3 Histograma de precipitación histórica total anual.



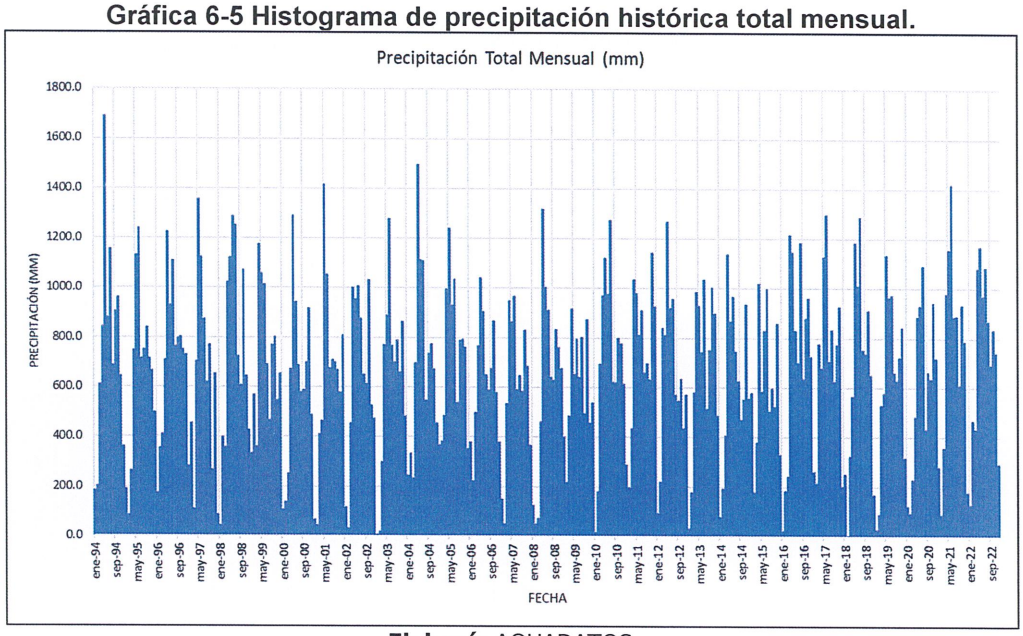
Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica 6-4 Histograma de precipitación histórica máxima en 24 horas anual.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica 6-5 Histograma de precipitación histórica total mensual.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia.

7 CAUDALES DE DISEÑO

Teniendo en cuenta la magnitud del área de la cuenca, para el cálculo de los caudales máximos de crecientes de diseño, se hizo uso de la metodología del hidrograma unitario del Soil Conservation Service (SCS), siendo así, se procedió con el ajuste de funciones de probabilidad de las precipitaciones máximas presentadas previamente para las series de datos históricas, luego haciendo uso de las curvas de intensidad – duración – frecuencia y del método de los bloques alternos, se efectuó la simulación en el software HEC – HMS y se encontraron los caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno para la corriente.

De acuerdo con lo anterior se realiza un análisis de datos para los registros de precipitación máxima anual en 24horas de la estación Buenavista con código 35030090.

Tabla 5. Registros analizados máximos mensuales a nivel multianual

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máx.Precip (mm)
1994	0.0	0.0	140.0	0.0	180.0	100.0	155.0	70.0	145.0	120.0	80.0	50.0	180.0
1995	70.0	40.0	25.0	90.0	115.0	115.0	100.0	90.0	115.0	135.0	135.0	93.0	135.0
1996	37.0	64.0	61.0	97.0	133.0	117.0	187.0	92.0	133.0	93.0	110.0	115.0	187.0
1997	67.0	118.0	42.0	107.0	154.0	112.0	153.0	61.0	144.0	50.0	100.0	25.0	154.0
1998	16.0	149.0	94.0	146.0	138.0	136.0	120.0	165.3	113.0	167.9	143.6	63.0	167.9
1999	82.0	107.0	103.3	139.0	126.0	110.0	85.3	55.0	140.0	97.0	94.0	84.0	140.0
2000	34.0	41.0	77.0	74.9	109.0	77.0	100.0	76.0	85.0	67.0	177.0	144.0	177.0
2001	48.0	29.0	68.0	60.0	147.0	155.0	95.0	117.0	129.0	131.0	97.0	133.0	155.0
2002	49.0	10.0	103.0	135.0	128.0	152.0	135.0	75.0	109.0	133.0	100.0	135.0	152.0
2003	4.0	10.0	68.0	110.0	96.0	173.0	83.0	115.0	149.3	97.0	96.0	60.0	173.0
2004	69.0	65.0	55.0	117.0	123.0	134.0	198.0	72.4	161.6	0.0	155.0	65.0	198.0
2005	78.0	135.0	78.0	126.0	133.0	120.0	109.0	84.0	102.0	158.0	138.0	110.0	158.0
2006	57.6	108.0	70.0	109.0	106.0	115.0	70.0	82.0	0.0	134.0	75.0	77.0	134.0
2007	94.0	30.0	114.0	135.0	78.0	135.0	73.0	82.5	56.3	136.0	147.0	63.0	147.0
2008	72.0	15.0	24.0	80.0	143.0	0.0	0.0	106.0	67.0	120.0	119.0	140.0	143.0
2009	87.0	76.0	129.0	138.0	113.0	80.5	76.0	117.0	80.0	119.0	88.0	131.0	138.0
2010	11.1	41.0	138.0	138.0	130.0	108.0	138.0	90.0	130.0	125.0	110.0	103.0	138.0
2011	66.0	68.0	100.0	136.0	87.0	105.0	134.0	99.0	82.0	85.0	138.0	137.0	138.0
2012	14.0	80.0	104.0	107.0	137.0	128.0	136.0	121.0	126.0	134.0	56.0	136.0	137.0
2013	10.0	42.0	97.0	129.0	138.0	74.0	137.0	64.0	96.0	136.0	120.0	134.0	138.0
2014	41.0	110.0	120.0	113.0	138.0	105.0	88.0	95.0	64.0	84.0	117.0	95.0	138.0
2015	150.0	48.0	90.0	137.0	95.0	135.0	135.0	76.0	100.0	82.0	72.0	70.0	150.0
2016	10.0	40.0	60.0	145.0	136.0	127.0	68.0	136.0	135.0	135.0	135.0	135.0	145.0
2017	47.0	53.0	118.0	135.0	136.0	135.0	113.0	115.0	95.0	0.0	134.0	40.0	136.0
2018	50.0	2.0	81.0	135.0	130.0	136.0	130.0	130.0	124.0	123.0	135.0	45.0	136.0
2019	8.0	33.0	135.0	134.0	135.0	96.0	105.0	102.0	135.0	121.0	135.0	112.0	135.0
2020	32.0	35.0	90.0	140.0	125.0	132.0	135.0	91.0	115.0	113.0	108.0	135.0	140.0
2021	56.0	22.0	64.0	135.0	135.0	130.0	133.0	120.0	125.0	102.0	136.0	40.0	136.0
2022	60.0	110.0	73.0	132.0	130.0	115.0	119.0	140.0	127.0	84.0	121.0	97.0	140.0

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: IDEAM

Se realiza un análisis estadístico en base al registro de la estación Buenavista con el objetivo de identificar la presencia de valores atípicos elevados o bajos en los datos registrados. A continuación, se obtienen las siguientes características y resultados:

Tabla 6. Parámetros y resultados estadísticos

PARÁMETROS ESTADISTICOS	Pmáx 24h	Log(Pmáx-24h)
Número de datos (n)	29.000	29.000
Sumatoria	4345.900	63.016
Valor máximo	198.000	2.297
Valor mínimo	134.000	2.127
Media	149.859	2.173
Varianza	315.208	0.002
Desviación Estándar	17.754	0.048
Coef Variación	0.118	0.022
Coef de Sesgo	1.349	1.204
Datos dudosos altos		

n=	29.000
Kn=	2.549
Kn=	Valor recomendado, varía según el valor de n (significativamente 10%

Umbral de datos dudosos altos (Xh: Und. Log)		
Formula=	$x_H = \tilde{x} + K_n * s$	
xH=	2.378	
Pmáx aceptada=	197.821	mm
No Existen Datos Dudosos		

Umbral de datos dudosos bajos (XL: Und. Log)		
Formula=	$x_l = \tilde{x} - K_n * s$	
xL=	1.728	
Pmín aceptada=	112.117	mm
No Existen Datos Dudosos		

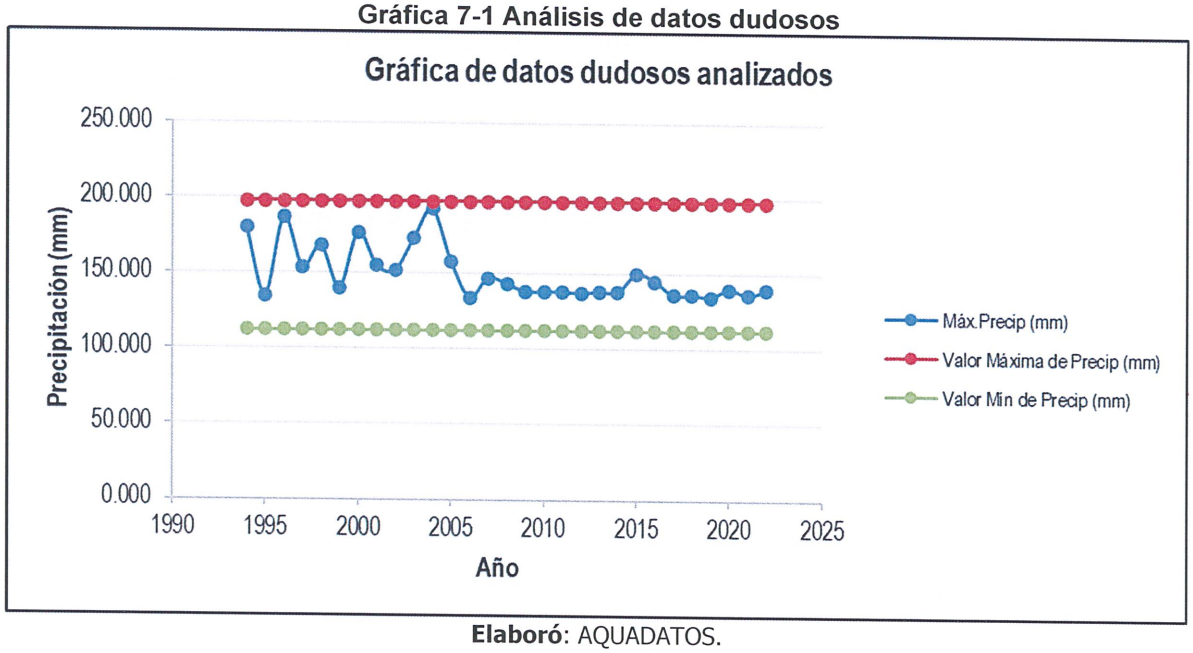
Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Según los resultados del análisis de Umbral alto y Umbral bajo, se lleva a cabo la evaluación conforme a los siguientes criterios:

- Si la asimetría de la estación es mayor que +0.4, se prioriza la aplicación de pruebas para identificar datos atípicos de valores elevados.
- Si la asimetría de la estación es menor que 0.4, se da preferencia a las pruebas destinadas a detectar datos atípicos de valores bajos.

- En caso de que la asimetría de la estación se sitúe entre -0.4 y +0.4, se procede a realizar pruebas para la detección de datos atípicos tanto elevados como bajos antes de considerar la eliminación de algún dato sospechoso del conjunto de datos.

Gráfica 7-1 Análisis de datos dudosos



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

7.1 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE VALORES MÁXIMOS

Los valores máximos en hidrología de drenaje (precipitación o caudales), deben ser tratados a través de distribuciones probabilísticas.
Aunque existen numerosas distribuciones de probabilidad para valores máximos, es muy común en hidrología utilizar para estos valores las distribuciones de probabilidad Gumbel (escuela europea), log-Normal y log-Pearson Tipo III (escuela americana).

7.1.1 PRUEBAS DE BONDAD DEL AJUSTE SEGÚN KOLMOGOROV – SMIRNOV

Para escoger la mejor distribución probabilística, a continuación, se realiza una prueba de bondad de ajuste de los datos históricos y utilizando en este caso el método Kolmogorov-Smirnov y la función de distribución probabilística Weibull.

7.1.2 RESUMEN DE LA PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

En la siguiente tabla se muestra un resumen de la prueba Kolmogorov – Smirnov según el orden de preferencia indicado por cada prueba, dando 1 a la de "mejor" ajuste.

Tabla 7. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov

FUNCIÓN	KOLMOGOROV	S	$C_{critico}$	Chequeo, S < C
GUMBEL	1	0.17345	0.24600	El ajuste es correcto, y se ajusta la función de distribución que se está analizando
LOG-NORMAL	2	0.20963	0.24600	El ajuste es correcto, y se ajusta la función de distribución que se está analizando
LOG-PEARSON III	3	0.57786	0.24600	El ajuste es correcto, y se ajusta la función de distribución que se está analizando

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos de la prueba de Kolmogórov-Smirnov, el método que mejor se adaptó para el cálculo de las curvas de intensidad, duración y frecuencia con los datos de la estación Buenavista en el municipio de Restrepo, fue el método de Gumbel.

7.2 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA

El análisis de curvas IDF se refiere a la evaluación y estudio de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), que son utilizadas en hidrología para caracterizar la lluvia en una región específica. Estas curvas describen la relación entre la intensidad de la lluvia, la duración de la lluvia y la frecuencia con la que se espera que ocurra.

- Intensidad (I): La tasa de precipitación pluvial, es decir, la cantidad de lluvia que cae por unidad de tiempo.
- Duración (D): El tiempo total durante el cual ocurre la lluvia.
- Frecuencia (F): La probabilidad de que ocurra una cierta intensidad de lluvia durante un período de tiempo específico.

El análisis de curvas IDF implica examinar y modelar estas relaciones para comprender mejor el comportamiento de la lluvia en una ubicación determinada. Este análisis es esencial en la ingeniería hidrológica y el diseño de infraestructuras hidráulicas, ya que proporciona información crucial para dimensionar adecuadamente sistemas de drenaje, alcantarillado, presas y otros elementos de control de agua. Además, el análisis de curvas IDF es fundamental en la evaluación de riesgos asociados con eventos de lluvia intensa, como inundaciones, lo que contribuye a la planificación y gestión adecuada de recursos hídricos y la mitigación de desastres.

El método de Gumbel es un enfoque utilizado en hidrología para calcular las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) de las precipitaciones. Las curvas IDF son herramientas importantes en ingeniería hidrológica y diseño de infraestructuras para estimar la magnitud y frecuencia de eventos de lluvia de diferentes duraciones.

7.2.1.1 Distribución de probabilidades pluviométricas

A continuación, se realiza la distribución de acuerdo con las probabilidades pluviométricas de la estación Buenavista.

Tabla 8. Distribución de probabilidades pluviométricas

N.º	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	xi	(xi - x)^2
1	1994	0	180.00	908.50
2	1995	0	135.00	220.78
3	1996	0	187.00	1379.48
4	1997	0	154.00	17.15
5	1998	0	167.90	325.49
6	1999	0	140.00	97.19
7	2000	0	177.00	736.65
8	2001	0	155.00	26.43
9	2002	0	152.00	4.59
10	2003	0	173.00	535.52
11	2004	0	198.00	2317.59
12	2005	0	158.00	66.28
13	2006	0	134.00	251.50
14	2007	0	147.00	8.17
15	2008	0	143.00	47.04
16	2009	0	138.00	140.63
17	2010	0	138.00	140.63
18	2011	0	138.00	140.63
19	2012	0	137.00	165.34
20	2013	0	138.00	140.63
21	2014	0	138.00	140.63
22	2015	1	150.00	0.02
23	2016	2	145.00	23.61
24	2017	3	136.00	192.06
25	2018	4	136.00	192.06
26	2019	5	135.00	220.78
27	2020	6	140.00	97.19
28	2021	7	136.00	192.06
29	2022	8	140.00	97.19
29	***Suma***		**4345.9**	**8825.83**

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

7.2.1.2 Cálculo de variables probabilísticas

Se lleva a cabo el cálculo de variables probabilísticas conforme a la distribución de probabilidades pluviométricas, y a continuación se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 9. Cálculo de variables probabilísticas

$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} =$	**149.86**	mm
$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} =$	**17.75**	mm
$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s =$	**13.84**	mm
$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha =$	**141.87**	mm

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

7.2.1.3 Cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias de retorno

Se lleva a cabo el cálculo de precipitaciones diarias máximas probables de acuerdo con las variables probabilísticas anteriormente calculadas, y a continuación se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 10. Cálculo de precipitaciones diarias máximas

Periodo Retorno Años	*Variable Reducida YT*	*Precip. (mm) XT'(mm)*	*Prob. de ocurrencia F(xT)*	*Corrección intervalo fijo XT (mm)*
2	0.3665	146.9421	0.5000	**148.4115**
3	0.9027	154.3647	0.6667	**155.9084**
5	1.4999	162.6319	0.8000	**164.2583**
10	2.2504	173.0200	0.9000	**174.7502**
15	2.6738	178.8808	0.9333	**180.6696**
20	2.9702	182.9844	0.9500	**184.8143**
25	3.1985	186.1453	0.9600	**188.0067**
50	3.9019	195.8824	0.9800	**197.8412**
100	4.6001	205.5476	0.9900	**207.6031**
500	6.2136	227.8824	0.9980	**230.1612**

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta que para la corrección de intervalo fijo se tiene en cuenta el concepto de la organización meteorológica mundial, en su guía de prácticas hidrológicas, explica que estudios de miles de años - estaciones de datos pluviométricos indican que al multiplicar las cantidades máximas anuales de lluvia diaria u horaria, para un solo intervalo fijo de observaciones de una a 24 horas por el valor de 1.13, se producirán valores que aproximan mucho a los que se obtendrán de un análisis de los máximos reales. Se requieres ajustes menores cuando las cantidades máximos observador se determinan de dos o más intervalos de observación fija. Para el estudio de los datos de la estación , se usó el valor de 1.13 para la corrección de intervalo fijo.

7.2.1.4 Cálculo de precipitaciones máximas e Intensidades de lluvia para diferentes tiempos de duración de lluvia

Se lleva a cabo el cálculo de precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvia, de acuerdo con los coeficientes para las relaciones a las lluvias con duración de 24 horas, y a continuación se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 11. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos en un día

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración									
		2 años	3 años	5 años	10 años	15 años	20 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	148.4	155.9	164.3	174.8	180.7	184.8	188.0	197.8	207.6	230.2
18 hr	X18 = 91%	135.1	141.9	149.5	159.0	168.2	164.4	171.1	180.0	188.9	209.4
12 hr	X12 = 80%	118.7	124.7	131.4	139.8	144.5	147.9	150.4	158.3	166.1	184.1
8 hr	X8 = 68%	100.9	106.0	111.7	118.8	122.9	125.7	127.8	134.5	141.2	156.5
6 hr	X6 = 61%	90.5	95.1	100.2	106.6	110.2	112.7	114.7	120.7	126.6	140.4
5 hr	X5 = 57%	84.6	88.9	93.6	99.6	103.0	105.3	107.2	112.8	118.3	131.2

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración									
		2 años	3 años	5 años	10 años	15 años	20 años	25 años	50 años	100 años	500 años
4 hr	X4 = 52%	77.2	81.1	85.4	90.9	93.9	96.1	97.8	102.9	108.0	119.7
3 hr	X3 = 46%	68.3	71.7	75.6	80.4	83.1	85.0	86.5	91.0	95.5	105.9
2 hr	X2 = 39%	57.9	60.8	64.1	68.2	70.5	72.1	73.3	77.2	81.0	89.8
1 hr	X1 = 30%	44.5	46.8	49.3	52.4	54.2	55.4	56.4	59.4	62.3	69.0

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Consecutivamente se realiza el cálculo de las intensidades de lluvia a partir de Pd, según la duración de precipitación y frecuencia de esta, anteriormente calculada, a continuación, se presentan los datos obtenidos:

Tabla 12. Intensidades de lluvia para diferente duración en un día

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno									
Hr	min	2 años	3 años	5 años	10 años	15 años	20 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	6.2	6.5	6.8	7.3	7.5	7.7	7.8	8.2	8.7	9.6
18 hr	1080	7.5	7.9	8.3	8.8	9.3	9.1	9.5	10.0	10.5	11.6
12 hr	720	9.9	10.4	11.0	11.7	12.0	12.3	12.5	13.2	13.8	15.3
8 hr	480	12.6	13.3	14.0	14.9	15.4	15.7	16.0	16.8	17.6	19.6
6 hr	360	15.1	15.9	16.7	17.8	18.4	18.8	19.1	20.1	21.1	23.4
5 hr	300	16.9	17.8	18.7	19.9	20.6	21.1	21.4	22.6	23.7	26.2
4 hr	240	19.3	20.3	21.4	22.7	23.5	24.0	24.4	25.7	27.0	29.9
3 hr	180	22.8	23.9	25.2	26.8	27.7	28.3	28.8	30.3	31.8	35.3
2 hr	120	28.9	30.4	32.0	34.1	35.2	36.0	36.7	38.6	40.5	44.9
1 hr	60	44.5	46.8	49.3	52.4	54.2	55.4	56.4	59.4	62.3	69.0

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

7.2.1.5 Regresiones I-D-T

De acuerdo con los resultados obtenidos en el cálculo de la intensidad lluvia según el periodo de retorno, se obtiene la representación matemática de las regresiones para las curvas IDF:

Tabla 13. Regresión IDT para TR=2 años

Periodo de retorno para T = 2 años						
N.°	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	6.1838	7.2724	1.8219	13.2498	52.8878
2	1080	7.5030	6.9847	2.0153	14.0763	48.7863
3	720	9.8941	6.5793	2.2919	15.0792	43.2865
4	480	12.6150	6.1738	2.5349	15.6498	38.1156
5	360	15.0885	5.8861	2.7139	15.9745	34.6462
6	300	16.9189	5.7038	2.8284	16.1328	32.5331
7	240	19.2935	5.4806	2.9598	16.2214	30.0374
8	180	22.7564	5.1930	3.1248	16.2272	26.9668
9	120	28.9403	4.7875	3.3652	16.1110	22.9201
10	60	44.5235	4.0943	3.7960	15.5422	16.7637
10	**4980**	**183.7170**	**58.1555**	**27.4523**	**154.2644**	**346.9435**

Periodo de retorno para T = 2 años						
N.°	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
Ln (d) =	6.3299	*d =*	561.0736	*n =*	-0.6164	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14. Regresión IDT para TR=3 años

Periodo de retorno para T = 3 años						
N.°	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	6.4962	7.2724	1.8712	13.6082	52.8878
2	1080	7.8820	6.9847	2.0646	14.4205	48.7863
3	720	10.3939	6.5793	2.3412	15.4035	43.2865
4	480	13.2522	6.1738	2.5842	15.9541	38.1156
5	360	15.8507	5.8861	2.7632	16.2646	34.6462
6	300	17.7736	5.7038	2.8777	16.4138	32.5331
7	240	20.2681	5.4806	3.0090	16.4915	30.0374
8	180	23.9060	5.1930	3.1741	16.4831	26.9668
9	120	30.4021	4.7875	3.4145	16.3470	22.9201
10	60	46.7725	4.0943	3.8453	15.7440	16.7637
10	**4980**	**192.9973**	**58.1555**	**27.9451**	**157.1302**	**346.9435**
Ln (d) =	6.3791	*d =*	589.4156	*n =*	-0.6164	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15. Regresión IDT para TR=5 años

Periodo de retorno para T = 5 años						
N.°	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	6.8441	7.2724	1.9234	13.9876	52.8878
2	1080	8.3042	6.9847	2.1168	14.7850	48.7863
3	720	10.9506	6.5793	2.3934	15.7467	43.2865
4	480	13.9620	6.1738	2.6363	16.2762	38.1156
5	360	16.6996	5.8861	2.8154	16.5716	34.6462
6	300	18.7254	5.7038	2.9299	16.7114	32.5331
7	240	21.3536	5.4806	3.0612	16.7774	30.0374
8	180	25.1863	5.1930	3.2263	16.7540	26.9668
9	120	32.0304	4.7875	3.4667	16.5967	22.9201
10	60	49.2775	4.0943	3.8975	15.9576	16.7637
10	**4980**	**203.3335**	**58.1555**	**28.4668**	**160.1643**	**346.9435**
Ln (d) =	6.4313	*d =*	620.9825	*n =*	-0.6164	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16. Regresión IDT para TR=10 años

Periodo de retorno para T = 10 años						
N.°	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	7.2813	7.2724	1.9853	14.4379	52.8878
2	1080	8.8346	6.9847	2.1787	15.2174	48.7863
3	720	11.6500	6.5793	2.4553	16.1541	43.2865
4	480	14.8538	6.1738	2.6983	16.6584	38.1156
5	360	17.7663	5.8861	2.8773	16.9361	34.6462
6	300	19.9215	5.7038	2.9918	17.0646	32.5331
7	240	22.7175	5.4806	3.1231	17.1168	30.0374
8	180	26.7950	5.1930	3.2882	17.0756	26.9668

Periodo de retorno para T = 10 años						
N.°	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
9	120	34.0763	4.7875	3.5286	16.8932	22.9201
10	60	52.4251	4.0943	3.9594	16.2111	16.7637
10	**4980**	**216.3213**	**58.1555**	**29.0860**	**163.7651**	**346.9435**
Ln (d) =	**6.4932**	***d =***	**660.6474**	***n =***	**-0.6164**	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17. Regresión IDT para TR=15 años

Periodo de retorno para T = 15 años						
N.°	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
1	1440	7.5279	7.2724	2.0186	14.6802	52.8878
2	1080	9.3434	6.9847	2.2347	15.6085	48.7863
3	720	12.0446	6.5793	2.4886	16.3733	43.2865
4	480	15.3569	6.1738	2.7316	16.8641	38.1156
5	360	18.3681	5.8861	2.9106	17.1322	34.6462
6	300	20.5963	5.7038	3.0251	17.2546	32.5331
7	240	23.4871	5.4806	3.1564	17.2994	30.0374
8	180	27.7027	5.1930	3.3215	17.2486	26.9668
9	120	35.2306	4.7875	3.5619	17.0526	22.9201
10	60	54.2009	4.0943	3.9927	16.3475	16.7637
10	**4980**	**223.8584**	**58.1555**	**29.4418**	**165.8609**	**346.9435**
Ln (d) =	**6.5112**	***d =***	**672.6003**	***n =***	**-0.6134**	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18. Regresión IDT para TR=20 años

Periodo de retorno para T = 20 años						
N.°	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
1	1440	7.7006	7.2724	2.0413	14.8451	52.8878
2	1080	9.1339	6.9847	2.2120	15.4501	48.7863
3	720	12.3210	6.5793	2.5113	16.5225	43.2865
4	480	15.7092	6.1738	2.7542	17.0041	38.1156
5	360	18.7895	5.8861	2.9333	17.2657	34.6462
6	300	21.0688	5.7038	3.0478	17.3840	32.5331
7	240	24.0259	5.4806	3.1791	17.4237	30.0374
8	180	28.3382	5.1930	3.3442	17.3663	26.9668
9	120	36.0388	4.7875	3.5846	17.1612	22.9201
10	60	55.4443	4.0943	4.0154	16.4403	16.7637
10	**4980**	**228.5700**	**58.1555**	**29.6232**	**166.8631**	**346.9435**
Ln (d) =	**6.5646**	***d =***	**709.5252**	***n =***	**-0.6194**	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19. Regresión IDT para TR=25 años

Periodo de retorno para T = 25 años						
N.°	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
1	1440	7.8336	7.2724	2.0584	14.9697	52.8878
2	1080	9.5048	6.9847	2.2518	15.7282	48.7863
3	720	12.5338	6.5793	2.5284	16.6352	43.2865
4	480	15.9806	6.1738	2.7714	17.1099	38.1156
5	360	19.1140	5.8861	2.9504	17.3665	34.6462

Periodo de retorno para T = 25 años						
N.º	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
6	300	21.4328	5.7038	3.0649	17.4816	32.5331
7	240	24.4409	5.4806	3.1963	17.5175	30.0374
8	180	28.8277	5.1930	3.3613	17.4553	26.9668
9	120	36.6613	4.7875	3.6017	17.2432	22.9201
10	60	56.4020	4.0943	4.0325	16.5105	16.7637
10	**4980**	**232.7314**	**58.1555**	**29.8172**	**168.0175**	**346.9435**
Ln (d) =	**6.5663**	***d =***	**710.7642**	***n =***	**-0.6164**	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20. Regresión IDT para TR=50 años

Periodo de retorno para T = 50 años						
N.º	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
1	1440	8.2434	7.2724	2.1094	15.3405	52.8878
2	1080	10.0020	6.9847	2.3028	16.0843	48.7863
3	720	13.1894	6.5793	2.5794	16.9706	43.2865
4	480	16.8165	6.1738	2.8224	17.4247	38.1156
5	360	20.1139	5.8861	3.0014	17.6666	34.6462
6	300	22.5539	5.7038	3.1159	17.7725	32.5331
7	240	25.7194	5.4806	3.2472	17.7970	30.0374
8	180	30.3357	5.1930	3.4123	17.7200	26.9668
9	120	38.5790	4.7875	3.6527	17.4873	22.9201
10	60	59.3524	4.0943	4.0835	16.7192	16.7637
10	**4980**	**244.9054**	**58.1555**	**30.3271**	**170.9826**	**346.9435**
Ln (d) =	**6.6173**	***d =***	**747.9436**	***n =***	**-0.6164**	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21. Regresión IDT para TR=100 años

Periodo de retorno para T = 100 años						
N.º	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
1	1440	8.6501	7.2724	2.1576	15.6907	52.8878
2	1080	10.4955	6.9847	2.3509	16.4207	48.7863
3	720	13.8402	6.5793	2.6276	17.2875	43.2865
4	480	17.6463	6.1738	2.8705	17.7220	38.1156
5	360	21.1063	5.8861	3.0496	17.9501	34.6462
6	300	23.6667	5.7038	3.1641	18.0472	32.5331
7	240	26.9884	5.4806	3.2954	18.0609	30.0374
8	180	31.8325	5.1930	3.4605	17.9702	26.9668
9	120	40.4826	4.7875	3.7009	17.7179	22.9201
10	60	62.2809	4.0943	4.1317	16.9164	16.7637
10	**4980**	**256.9895**	**58.1555**	**30.8087**	**173.7836**	**346.9435**
Ln (d) =	**6.6655**	***d =***	**784.8486**	***n =***	**-0.6164**	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22. Regresión IDT para TR=500 años

Periodo de retorno para T = 500 años						
N.º	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
1	1440	9.5901	7.2724	2.2607	16.4409	52.8878
2	1080	11.6359	6.9847	2.4541	17.1412	48.7863

Periodo de retorno para T = 500 años						
N.º	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
3	720	15.3441	6.5793	2.7307	17.9662	43.2865
4	480	19.5637	6.1738	2.9737	18.3588	38.1156
5	360	23.3997	5.8861	3.1527	18.5573	34.6462
6	300	26.2384	5.7038	3.2672	18.6355	32.5331
7	240	29.9210	5.4806	3.3986	18.6263	30.0374
8	180	35.2914	5.1930	3.5636	18.5058	26.9668
9	120	44.8814	4.7875	3.8040	18.2117	22.9201
10	60	69.0484	4.0943	4.2348	17.3388	16.7637
10	**4980**	**284.9140**	**58.1555**	**31.8402**	**179.7825**	**346.9435**
Ln (d) =	**6.7686**	***d =***	**870.1303**	***n =***	**-0.6164**	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

7.2.1.6 Regresión potencial

A continuación, se reflejarán los resultados de la regresión potencial de la cuenca, a partir de los resultados obtenidos en las regresiones IDT para distintos periodos de retorno:

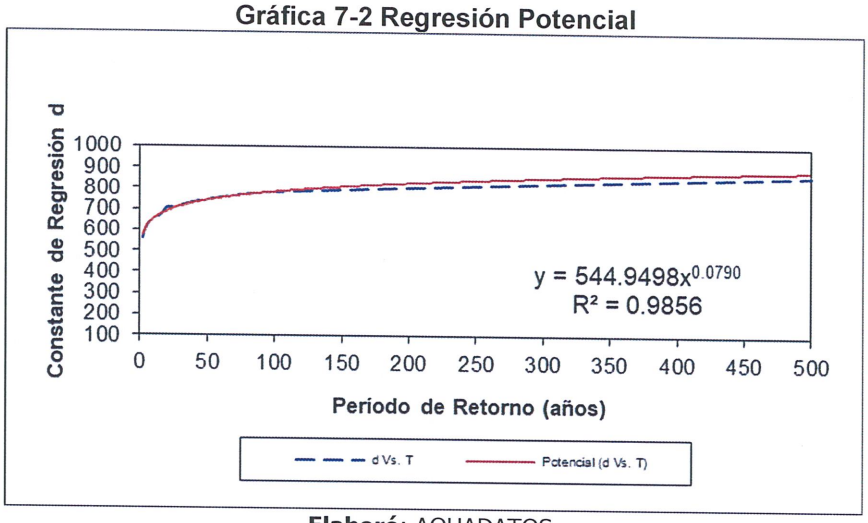
Tabla 23. Regresión potencial

Regresión potencial						
N.º	**x**	**y**	**ln x**	**ln y**	**ln x*ln y**	**(lnx)^2**
1	2	561.0736	0.6931	6.3299	4.3875	0.4805
2	3	589.4156	1.0986	6.3791	7.0082	1.2069
3	5	620.9825	1.6094	6.4313	10.3508	2.5903
4	10	660.6474	2.3026	6.4932	14.9512	5.3019
5	15	672.6003	2.7081	6.5112	17.6325	7.3335
6	20	709.5252	2.9957	6.5646	19.6658	8.9744
7	25	710.7642	3.2189	6.5663	21.1362	10.3612
8	50	747.9436	3.9120	6.6173	25.8871	15.3039
9	100	784.8486	4.6052	6.6655	30.6957	21.2076
10	500	870.1303	6.2146	6.7686	42.0645	38.6214
10	**730**	**6927.9313**	**29.3582**	**65.3271**	**193.7795**	**111.3816**
Ln (K) =	**6.3007**	***K =***	**544.9498**	***m =***	**0.0790**	

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, el término de constante de regresión (K) es **544,9498** y el coeficiente de regresión (m) es **0,0790.**

Gráfica 7-2 Regresión Potencial



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

7.2.1.7 Ecuación obtenida para las curvas IDF

De acuerdo con la metodología de Gumbel descrita a detalle anteriormente, se obtiene la siguiente ecuación de intensidad:

Ecuación 1. Ecuación de intensidad obtenida

$$I = \frac{544.9498 * T^{0.079028}}{t^{0.61639}}$$

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Donde:
I = intensidad de precipitación (mm/hr)
T = Periodo de Retorno (años)
t = Tiempo de duración de precipitación (min)

7.2.1.8 Curvas de intensidad, duración y frecuencia

Se mostrará a continuación la tabla de las curvas IDF correspondientes a la estación, siguiendo la metodología del método Gumbel.

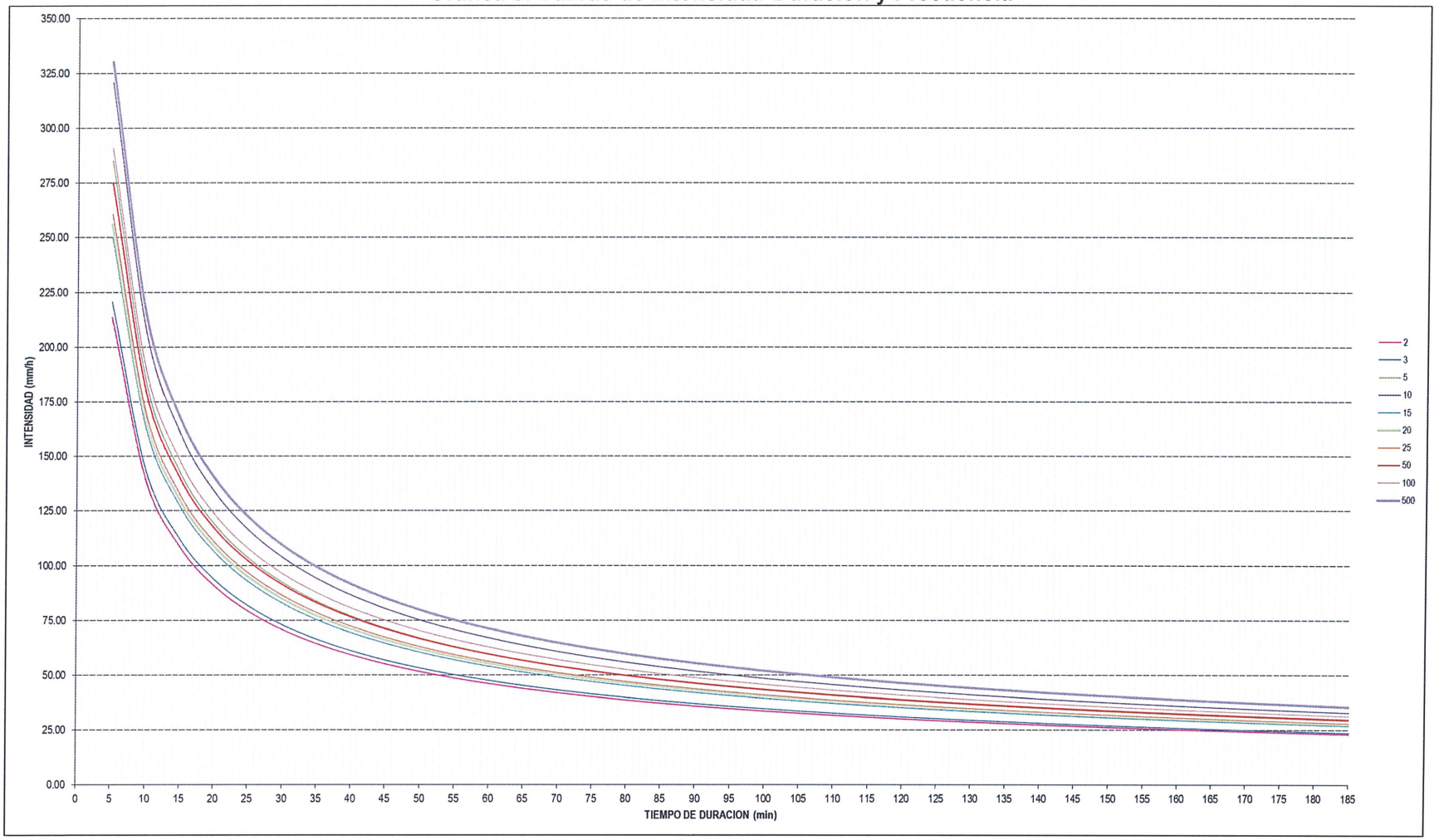
Tabla 24. Curvas IDF Estación Buenavista

CURVAS "I-D-F" ESTACIÓN BUENAVISTA - CODIGO: 35030090										
INTENSIDAD DE PRECIPITACION (mm/hora)										
TIEMPO (Minutos)	PERIODO DE RETORNO (Años)									
	2	3	5	10	15	20	25	50	100	500
5	213.46	220.41	229.49	242.41	250.30	256.06	260.61	275.29	290.79	330.23
10	139.24	143.77	149.70	158.12	163.27	167.03	170.00	179.57	189.68	215.41
15	108.45	111.98	116.59	123.16	127.17	130.09	132.41	139.86	147.74	167.77
20	90.83	93.78	97.65	103.14	106.50	108.95	110.89	117.13	123.73	140.51
25	79.15	81.73	85.10	89.89	92.82	94.95	96.64	102.08	107.83	122.46
30	70.74	73.04	76.05	80.34	82.95	84.86	86.37	91.23	96.37	109.44
35	64.33	66.42	69.16	73.05	75.43	77.17	78.54	82.96	87.63	99.52
40	59.25	61.18	63.70	67.28	69.47	71.07	72.33	76.41	80.71	91.66
45	55.10	56.89	59.23	62.57	64.61	66.09	67.27	71.06	75.06	85.24
50	51.63	53.31	55.51	58.64	60.55	61.94	63.04	66.59	70.34	79.88
55	48.69	50.27	52.34	55.29	57.09	58.40	59.44	62.79	66.32	75.32
60	46.14	47.65	49.61	52.40	54.11	55.35	56.34	59.51	62.86	71.39
65	43.92	45.35	47.22	49.88	51.50	52.69	53.63	56.65	59.84	67.95
70	41.96	43.33	45.11	47.65	49.20	50.34	51.23	54.12	57.16	64.92
75	40.21	41.52	43.23	45.67	47.16	48.24	49.10	51.86	54.78	62.21
80	38.65	39.90	41.55	43.89	45.32	46.36	47.18	49.84	52.65	59.79
85	37.23	38.44	40.02	42.28	43.65	44.66	45.45	48.01	50.72	57.59
90	35.94	37.11	38.64	40.81	42.14	43.11	43.88	46.35	48.96	55.60
95	34.76	35.89	37.37	39.48	40.76	41.70	42.44	44.83	47.36	53.78
100	33.68	34.78	36.21	38.25	39.49	40.40	41.12	43.44	45.88	52.10
105	32.68	33.75	35.14	37.12	38.32	39.20	39.90	42.15	44.52	50.56
110	31.76	32.79	34.14	36.07	37.24	38.10	38.77	40.96	43.26	49.13
115	30.90	31.91	33.22	35.09	36.23	37.07	37.73	39.85	42.09	47.80
120	30.10	31.08	32.36	34.18	35.30	36.11	36.75	38.82	41.00	46.57
125	29.35	30.31	31.56	33.33	34.42	35.21	35.84	37.85	39.99	45.41

CURVAS "I-D-F" ESTACIÓN BUENAVISTA - CODIGO: 35030090										
INTENSIDAD DE PRECIPITACION (mm/hora)										
TIEMPO (Minutos)	PERIODO DE RETORNO (Años)									
	2	3	5	10	15	20	25	50	100	500
130	28.65	29.58	30.80	32.54	33.60	34.37	34.98	36.95	39.03	44.32
135	27.99	28.90	30.09	31.79	32.82	33.58	34.18	36.10	38.13	43.31
140	27.37	28.26	29.43	31.08	32.10	32.83	33.42	35.30	37.29	42.35
145	26.79	27.66	28.80	30.42	31.41	32.13	32.70	34.55	36.49	41.44
150	26.23	27.09	28.20	29.79	30.76	31.47	32.03	33.83	35.74	40.58
155	25.71	26.54	27.64	29.19	30.14	30.84	31.39	33.15	35.02	39.77
160	25.21	26.03	27.10	28.63	29.56	30.24	30.78	32.51	34.34	39.00
165	24.74	25.54	26.59	28.09	29.01	29.67	30.20	31.90	33.70	38.27
170	24.28	25.08	26.11	27.58	28.48	29.13	29.65	31.32	33.08	37.57
175	23.85	24.63	25.65	27.09	27.97	28.62	29.12	30.76	32.50	36.90
180	23.44	24.21	25.20	26.62	27.49	28.12	28.62	30.23	31.94	36.27
185	23.05	23.80	24.78	26.18	27.03	27.65	28.14	29.73	31.40	35.66
190	22.68	23.41	24.38	25.75	26.59	27.20	27.68	29.24	30.89	35.08
195	22.32	23.04	23.99	25.34	26.17	26.77	27.25	28.78	30.40	34.52
200	21.97	22.69	23.62	24.95	25.76	26.35	26.82	28.33	29.93	33.99
205	21.64	22.34	23.26	24.57	25.37	25.96	26.42	27.91	29.48	33.47
210	21.32	22.01	22.92	24.21	25.00	25.57	26.03	27.49	29.04	32.98
215	21.01	21.70	22.59	23.86	24.64	25.21	25.65	27.10	28.62	32.51
220	20.72	21.39	22.27	23.53	24.29	24.85	25.29	26.72	28.22	32.05
225	20.43	21.10	21.97	23.20	23.96	24.51	24.94	26.35	27.83	31.61
230	20.16	20.81	21.67	22.89	23.64	24.18	24.61	25.99	27.46	31.18
235	19.89	20.54	21.38	22.59	23.32	23.86	24.29	25.65	27.10	30.77
240	19.63	20.27	21.11	22.30	23.02	23.55	23.97	25.32	26.75	30.38

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3. Curvas de Intensidad-Duración y Frecuencia



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

7.3 HIETOGRAMAS DE DISEÑO

Para la determinación del caudal de diseño asociado a los diferentes periodos de retorno, es necesario encontrar una serie de datos para poder ingresarlos al software HEC-HMS, llamados comúnmente "incrementos de lluvias puntuales", los cuales corresponden al total de lluvia generado en cada intervalo de duración para cada periodo de retorno. Para dar una secuencia más crítica del aguacero es posible hacer uso del método usado generalmente conocido como "bloque alterno", el cual se encarga de ajustar los incrementos de lluvia de los hietogramas de diseño hallados a partir de las curvas de masas. La precipitación máxima es representativa del centro de las tormentas, es decir, la precipitación promedio en la totalidad del área de drenaje es menor, dependiendo de las características morfométricas de la cuenca, por lo tanto, se ha adoptado un factor de reducción de lluvia para determinar un valor más real. Teniendo en cuenta la magnitud e importancia de la cuenca y las condiciones climáticas de la región se ha definido una lluvia de diseño con duración de **2h.**

Tabla 25. Hietogramas de precipitaciones de diseño, tiempo 30 minutos

INCREMENTOS ARREGLADOS DE LLUVIAS ESPACIALES 30 MINUTOS										
[Valores en mm]										
TIEMPO	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)									
(min)	2	3	5	10	15	20	25	50	100	500
0 a 5	2.71	2.79	2.91	3.07	3.17	3.25	3.30	3.49	3.69	4.19
5 a 10	3.91	4.03	4.20	4.44	4.58	4.68	4.77	5.04	5.32	6.04
10 a 15	17.79	18.37	19.12	20.20	20.86	21.34	21.72	22.94	24.23	27.52
15 a 20	5.42	5.59	5.83	6.15	6.35	6.50	6.62	6.99	7.38	8.38
20 a 25	3.16	3.27	3.40	3.59	3.71	3.79	3.86	4.08	4.31	4.89
25 a 30	2.39	2.47	2.57	2.71	2.80	2.87	2.92	3.08	3.25	3.70
TOTAL	**35.37**	**36.52**	**38.03**	**40.17**	**41.48**	**42.43**	**43.18**	**45.62**	**48.18**	**54.72**

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

7.4 PERIODO DE DISEÑO

El periodo de diseño fue seleccionado teniendo en cuenta las especificaciones de la Resolución 0330 de junio de 2017 y del Manual de Drenaje para Carreteras INVIAS, las cuales, dependiendo del tipo de obra y las características de drenaje, adoptan un determinado periodo de retorno.

Tabla 7-26. Periodos de retorno Resolución 0330.

Características obra de drenaje	TR (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Características obra de drenaje	TR (años)
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Resolución 0330 de junio de 2017.

Tabla 7-27. Periodos de retorno INVIAS.

Tipo de obra	TR (años)
Cunetas	5
Zanjas de Coronación	10
Estructuras de Caída	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras INVIAS.

De acuerdo con la clasificación presentada para el presente proyecto y la importancia de las obras que se proyectaran se ha definido un periodo de diseño de **50 años** para el cálculo del caudal de creciente para la zona de estudio**.** Sin embargo, se analizan todos los periodos de diseño para los caudales de creciente.

7.5 CN Y ABSTRACCIONES INICIALES

El valor de (CN) para cada condición de humedad antecedente es propio de cada cuenca y se obtiene con base en el tipo de suelo y la condición hidrológica, que es un indicador de la cobertura vegetal y de la capacidad de infiltración del suelo. El método establece que los suelos de la microcuenca en estudio deben clasificarse dentro de los siguientes grupos:

Se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Grupo Hidrológico de Suelo: Se ha seleccionado los grupos de suelos tipo A, B, y D, correspondiente al grupo hidrológico de suelo tipo A como arena, arenas margosa o marga arenosa (capacidad de infiltración mayor a 7.62 mm/h), al grupo hidrológico de suelo tipo B como limo margoso o marga (capacidad de infiltración de 3.81 a 7.62 mm/h) y al grupo hidrológico tipo C a margas arcillo arenosas (capacidad de infiltración de 1.278 a 3.81 mm/h).

- ✓ Tratamiento y Uso del Terreno: Los usos de terreno de la cuenca en estudio, se pueden evidenciar usos de tierra cultivada sin tratamientos de conservación y con tratamientos de conservación, pastizales en condiciones pobres y condiciones óptimas, bosques con cubierta buena y parte de la cabecera municipal.

Tabla 28. Valores de números adimensionales de curva CN para diferentes usos de la tierra y condición antecedente de humedad II

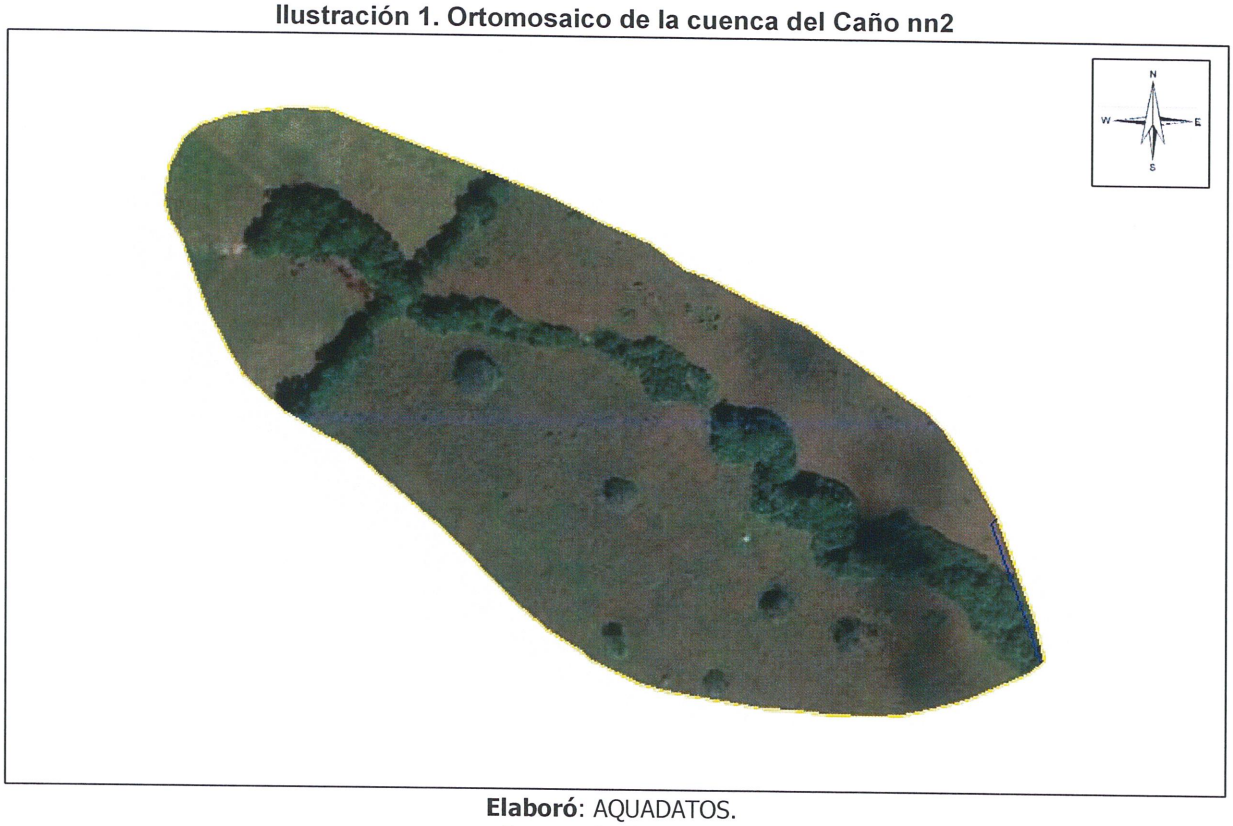
Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra Cultivada	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de rios	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Areas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial	Tamaño de 1/8 acre o menos y 65% impermeable	77	85	90	92
	Tamaño de 1/4 acre y 38% impermeable	61	75	83	87
	Tamaño de 1/3 acre y 30% impermeable	57	72	81	86
	Tamaño 1/2 acre y 25% impermeable	54	70	80	85
	Tamaño 1 acre y 20% impermeable	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras	Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Ven Te Chow et al, 1994

- ✓ Condición Hidrológica: Se define para esta hoya hidrográfica una condición hidrológica regular, lo que implica un cubrimiento de entre el 50 – 75 % del suelo y un pastoreo no intensivo.

- ✓ Humedad Antecedente: Tipo II. Indica que durante los 5 días previos a la tormenta de diseño ha existido una precipitación total de 36 a 53 mm y es aconsejada para proyectos de diseño.

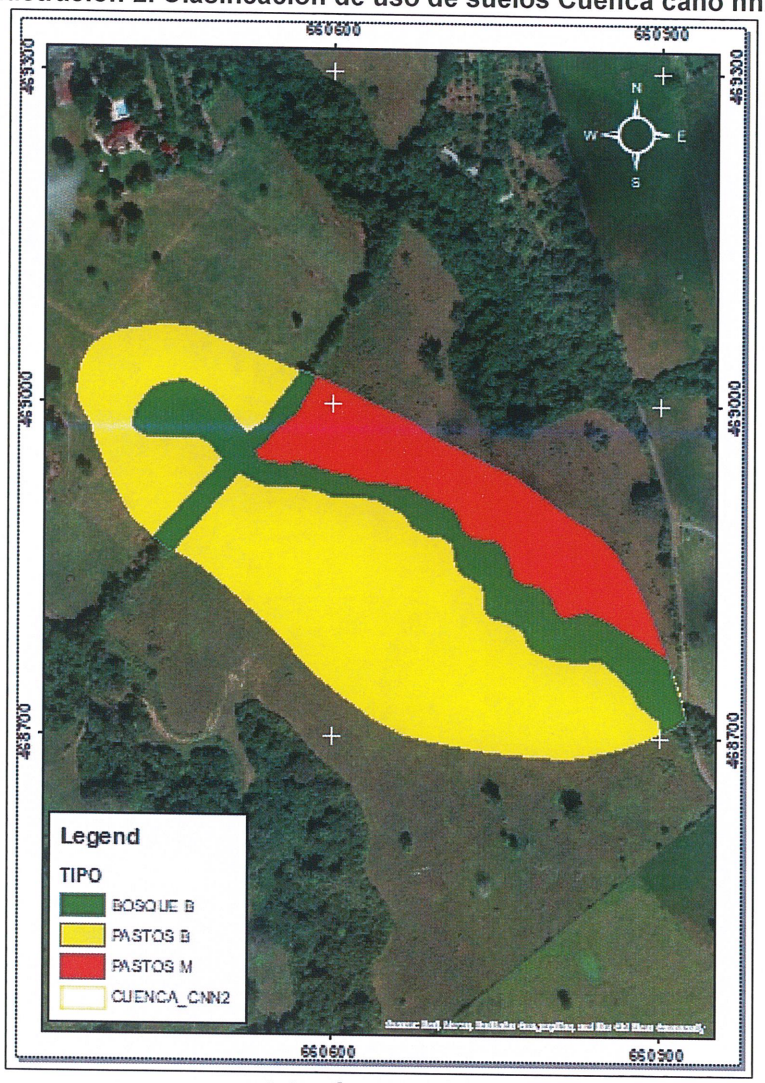
Ilustración 1. Ortomosaico de la cuenca del Caño nn2



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: SASPLANET.

De acuerdo con la información obtenida en los datos abiertos del IGAC en la vocación del uso de suelo, PBOT del municipio de Restrepo con las zonas de expansión urbana, Ortomosaico del programa de SASPLANET de la zona de estudio, se ha obtenido la siguiente clasificación de los tipos de suelos dentro de la cuenca.

Ilustración 2. Clasificación de uso de suelos Cuenca caño nn2



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Propia.

Tabla 7-29. Tipos de suelo cuenca caño cnn2

TIPO DE USO	ÁREA (HA)	NC	GRUPO	%	CN CALCULADO
Bosque de cobertura buena	0.0228	25	A	0.189	4.730
Pastos de cobertura buena	0.0735	74	C	0.610	45.119
Pastos de cobertura mala	0.0242	86	C	0.201	17.293
Zona urbana	0	89	C	0.000	0.000
		159.000			**67.142**

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores y realizando las correcciones por humedades antecedentes al coeficiente de infiltración, el valor de CN para la cuenca de estudio seria alrededor de:

- ✓ CN – 82.46 (Microcuenca caño nn2)

Las abstracciones iniciales, son un dato clave a la hora de ingresar el Hietograma de diseño al software de modelación, ya que estas nos indican cuánta agua verdaderamente escurre y cuanta se infiltra. Se emplearon ecuaciones definidas experimentalmente por el U.S. S.C.S. las cuales están en función del encharcamiento potencial máximo "S" y del coeficiente "CN".

- ✓ S – 54.04 mm (Microcuenca caño nn2)

7.6 CAUDALES DE CRECIENTE

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se procedió con el cálculo del caudal de diseño para un periodo de retorno de **50 años** por medio del software HEC – HMS. De igual manera, se muestran a continuación los valores obtenidos para cada uno de los periodos de retorno de la cuenca:

Tabla 7-30. Caudales de creciente Caño nn2.

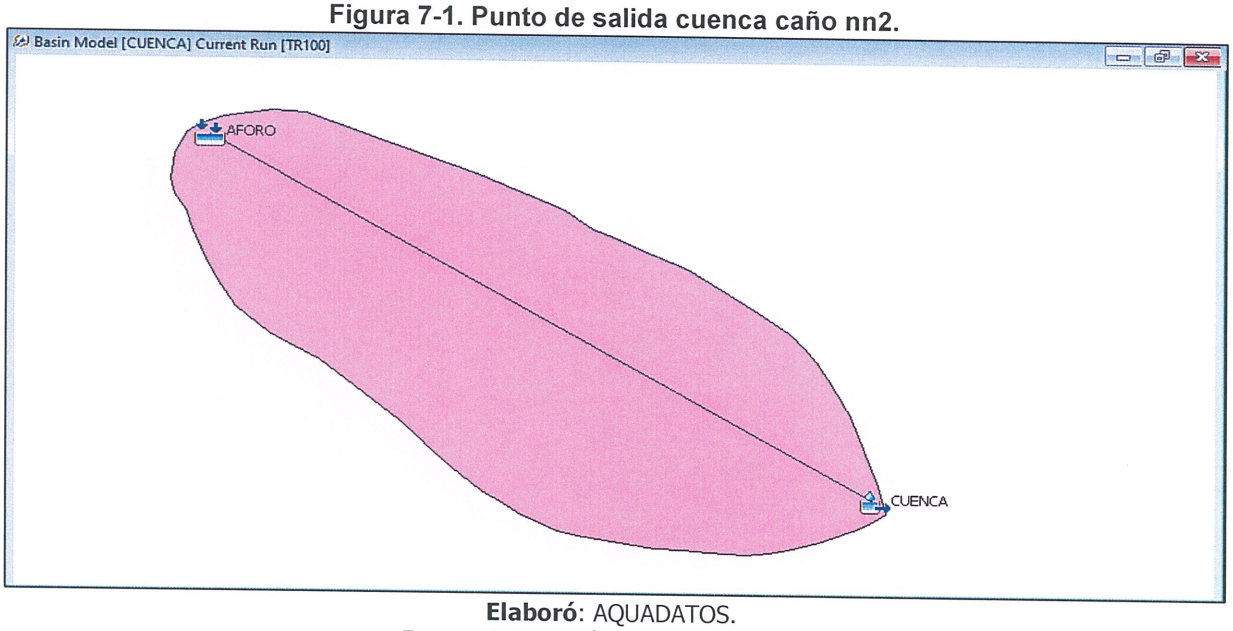
TR(Años)	Q(m^3/s)
2	1.5
3	1.6
5	1.8

TR(Años)	Q(m^3/s)
10	2.0
15	2.2
20	2.3

TR(Años)	Q(m^3/s)
25	2.4
50	2.8
100	3.2

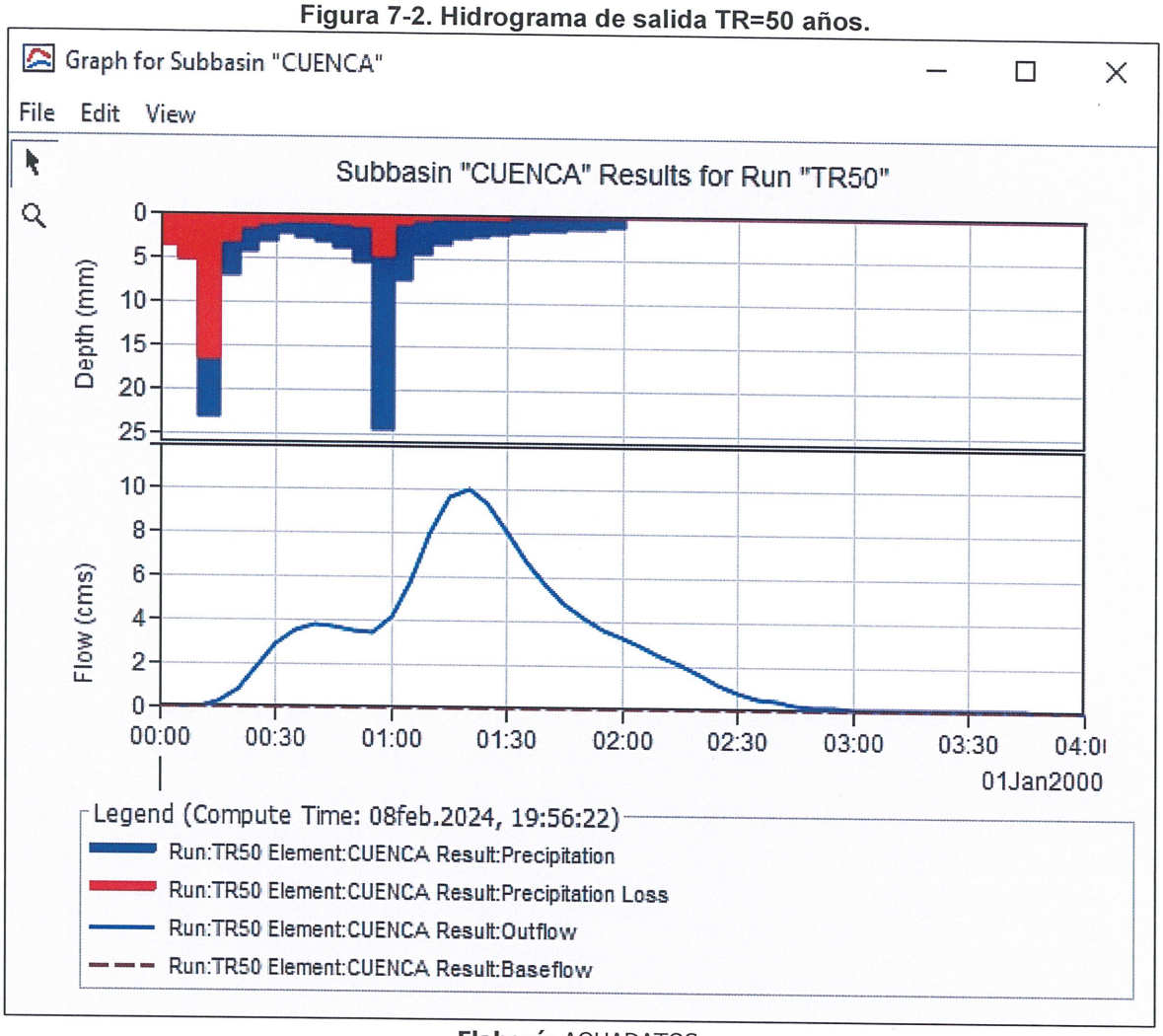
Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 7-1. Punto de salida cuenca caño nn2.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – HEC HMS.

Figura 7-2. Hidrograma de salida TR=50 años.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – HEC HMS.

8 MODELACIÓN HIDRAULICA

Para llevar a cabo las modelaciones hidráulicas de la corriente del caño cnn2 sobre el punto de estudio del segundo paso elevado del emisario final de aguas residuales del distrito occidental en el municipio de Restrepo, departamento del Meta, se seleccionó el modelo de simulación hidráulica unidimensional HEC – RAS (River Analysis System del Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del cuerpo de Estados Unidos.

8.1 SIMULACIÓN HEC – RAS

8.1.1 COEFICIENTE DE MANNING

El coeficiente de Manning es un coeficiente que mide la rugosidad de los materiales de lecho y de las bancas de un cauce, ya sea natural o artificial y a lo largo de los años, diversos autores han definido diferentes fórmulas y métodos para encontrar su valor más aproximado en base a variables representativas del cauce, como lo son la rugosidad absoluta o la granulometría de los materiales del lecho. Si bien se efectuaron sondeos y apiques en el punto del paso elevado dos definido para conocer las propiedades granulométricas del sitio, las condiciones a lo largo del cauce presentan variaciones en toda su zona, por lo que se ha optado por definir el coeficiente de Manning con base en la siguiente tabla guía usada generalmente para este tipo de proyectos:

Tabla 8-1. Coeficiente Manning.

Tipo de Canal y descripción	$n_{mín}$	n_{prom}	$n_{máx}$
Cursos de agua menores (ancho crecida < 30 m)			
Cursos de agua en planicie			
1. Limpio, recto, con el caudal máximo y sin montículos ni pozas profundas.	0.025	0.03	0.033
2. Igual al anterior, pero con mayor presencia de piedras y maleza.	0.03	0.035	0.04
3. Limpio, serpenteante, con algunas pozas y bancos de arena.	0.033	0.04	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras.	0.035	0.045	0.05
5. Igual al anterior, pero con niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes.	0.04	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras.	0.04	0.05	0.06
7. Tramos lentos con malezas y pozas profundas.	0.045	0.07	0.08
8. Tramos con muchas malezas, pozas profundas y canales de crecientes con muchos árboles y arbustos bajos	0.075	0.1	0.15
Torrentes de montaña sin vegetación en el cauce, orillas generalmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las orillas sumergidas en niveles altos.			
9. Fondo: grava, guijarros y algunas rocas.	0.03	0.04	0.05
10. Fondo: guijarros y rocas grandes.	0.04	0.05	0.07
Planicies de inundación			
Pastizales sin matorrales			
11. Con pasto corto.	0.025	0.03	0.035
12. Con pasto alto.	0.03	0.035	0.05

Tipo de Canal y descripción	$n_{mín}$	n_{prom}	$n_{máx}$
Áreas cultivadas			
13. Sin cultivo.	0.02	0.03	0.04
14. Cultivos en hileras maduros.	0.025	0.035	0.045
15. Campos de cultivo maduros.	0.03	0.04	0.05
Matorrales			
16. Matorrales esparcidos, mucha maleza.	0.035	0.05	0.07
17. Pocos matorrales y árboles, en invierno.	0.034	0.05	0.06
18. Pocos matorrales y árboles, en verano.	0.04	0.06	0.08
19. Matorrales medios a densos, en invierno.	0.045	0.07	0.11
20. Matorrales medios a densos, en verano.	0.07	0.1	0.16
Árboles			
21. Sauces densos, rectos y en verano.	0.11	0.15	0.2
22. Terreno limpio, con troncos sin retoños.	0.03	0.04	0.05
23. Igual al anterior, pero con una gran cantidad de retoños.	0.05	0.06	0.08
24. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, poco crecimiento de matorrales y nivel del agua por debajo de las ramas.	0.8	0.1	0.12
25. Igual al anterior, pero con nivel del agua por encima de las ramas.	0.1	0.12	0.16
Cursos de agua mayores (ancho crecida>30 m)			
a. Sección regular, sin cantos rodados ni materiales.	0.025	-	0.06
b. Sección irregular y rugosa.	0.035	-	0.1

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Ven Te Chow (2004).

El coeficiente obtenido es el correspondiente al lecho del cauce que teniendo en cuenta los factores adicionales a la rugosidad y las condiciones de vegetación del sitio, se fijó en **0.1**, para la modelación también es necesario el coeficiente de rugosidad asociado a las bancas del cauce; Se adoptó un coeficiente de Manning para las bancas de **0.025**.

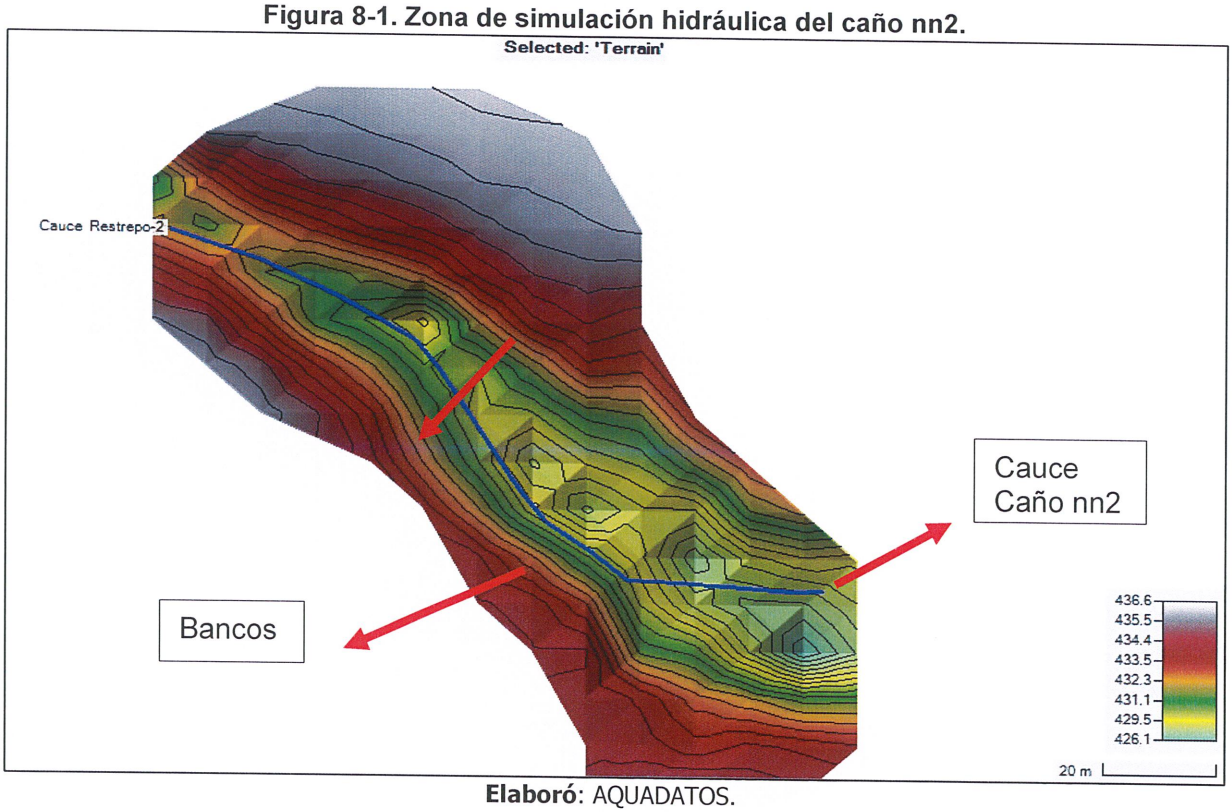
8.1.2 DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES

Teniendo en cuenta que el punto donde se localizará el segundo paso elevado del emisario final de aguas residuales del distrito occidental en el municipio de Restrepo, se deberá evaluar la corriente principal del Caño nn2, por lo tanto, se analizan las secciones transversales en ese punto y se concluye que para un periodo de retorno de 50 años se presenta un caudal de 2.8 m^3/s y para un periodo de retorno de 100 años se presenta un caudal de 3.2 m^3/s.

8.1.3 SECCIONES TRANSVERSALES

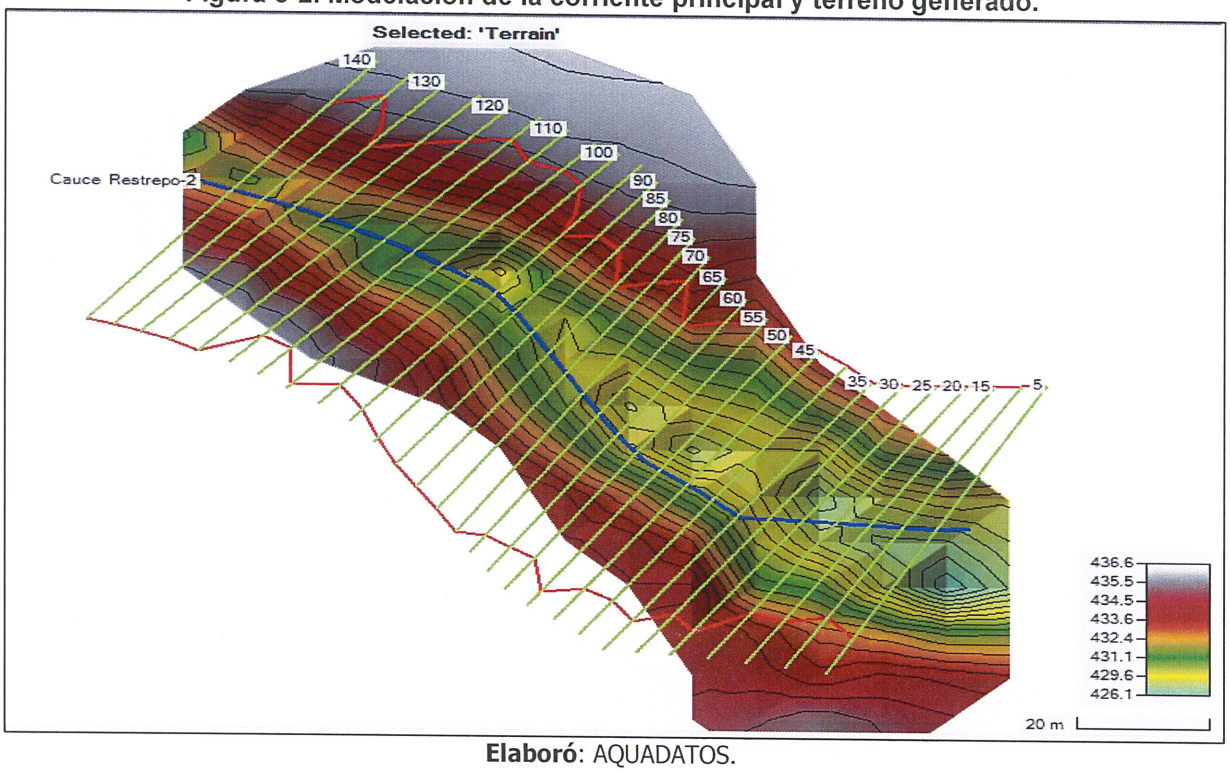
Para construir el modelo hidráulico en el punto de estudio donde cruzara el emisario final de aguas residuales sobre el Caño nn2, se contó con el levantamiento topográfico del cauce en esa localización, con una longitud aproximada de **140 m** para el cuerpo de agua en estudio. Para la simulación hidráulica del cauce se generaron secciones transversales cada **5 m**, con extensiones promedio a los lados de **100 m**.

Figura 8-1. Zona de simulación hidráulica del caño nn2.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia

Figura 8-2. Modelación de la corriente principal y terreno generado.



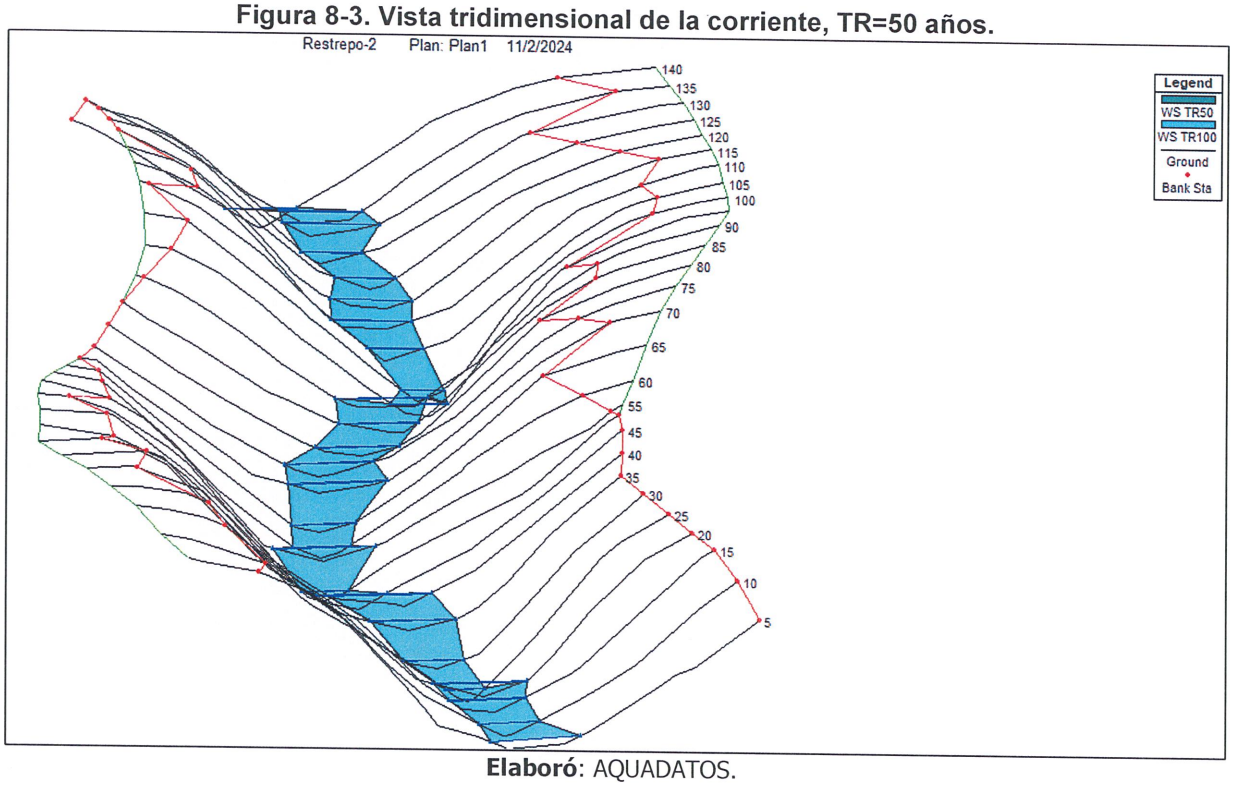
Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – RAS-MAPPER

Para definir las condiciones de frontera se analizaron las características del cauce caño nn2 de acuerdo con la topografía. El objetivo del estudio se procedió a simular un régimen supercrítico, estableciendo las condiciones de frontera aguas arriba y aguas abajo, se efectuó la simulación evaluando los caudales de diseño obtenidos previamente.

8.1.4 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

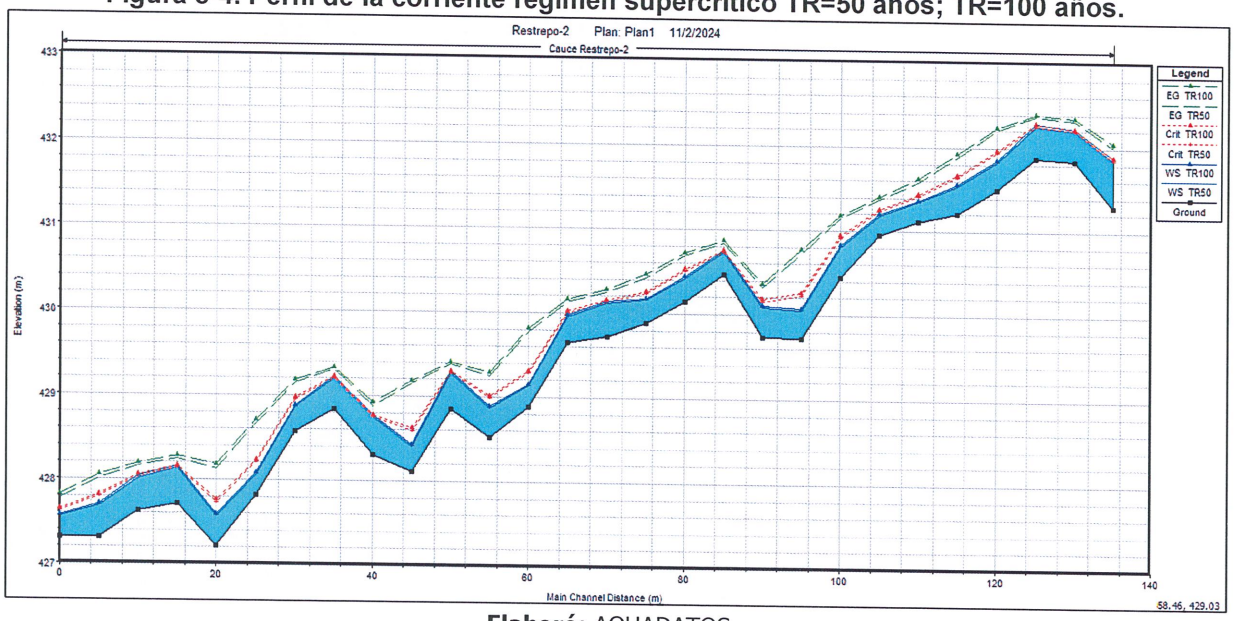
Teniendo en cuenta el objetivo de estudio se realizó la simulación de la corriente con un caudal de diseño asociado a un **TR=50 años** en régimen supercrítico y para el cálculo posterior de la socavación general se efectuó la simulación con un caudal asociado al periodo de **TR=50 años** en régimen supercrítico; Haciendo uso de la herramienta RAS Mapper del HEC – RAS para observar el comportamiento hidráulico del cauce del caño cnn2 y analizar las propiedades hidráulicas a lo largo del tramo evaluado, se presentan los resultados obtenidos.

Figura 8-3. Vista tridimensional de la corriente, TR=50 años.



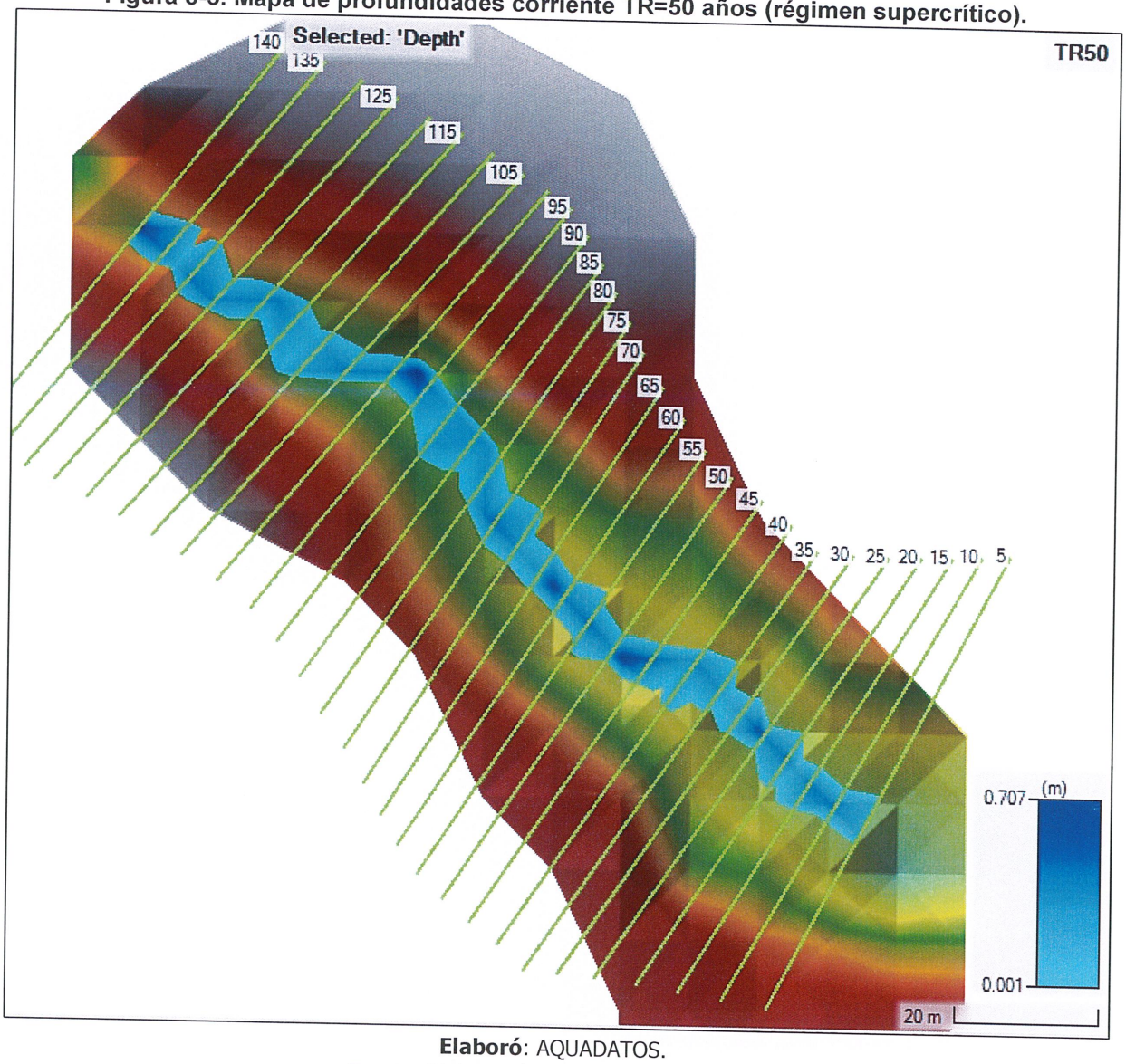
Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – HEC-RAS

Figura 8-4. Perfil de la corriente régimen supercrítico TR=50 años; TR=100 años.



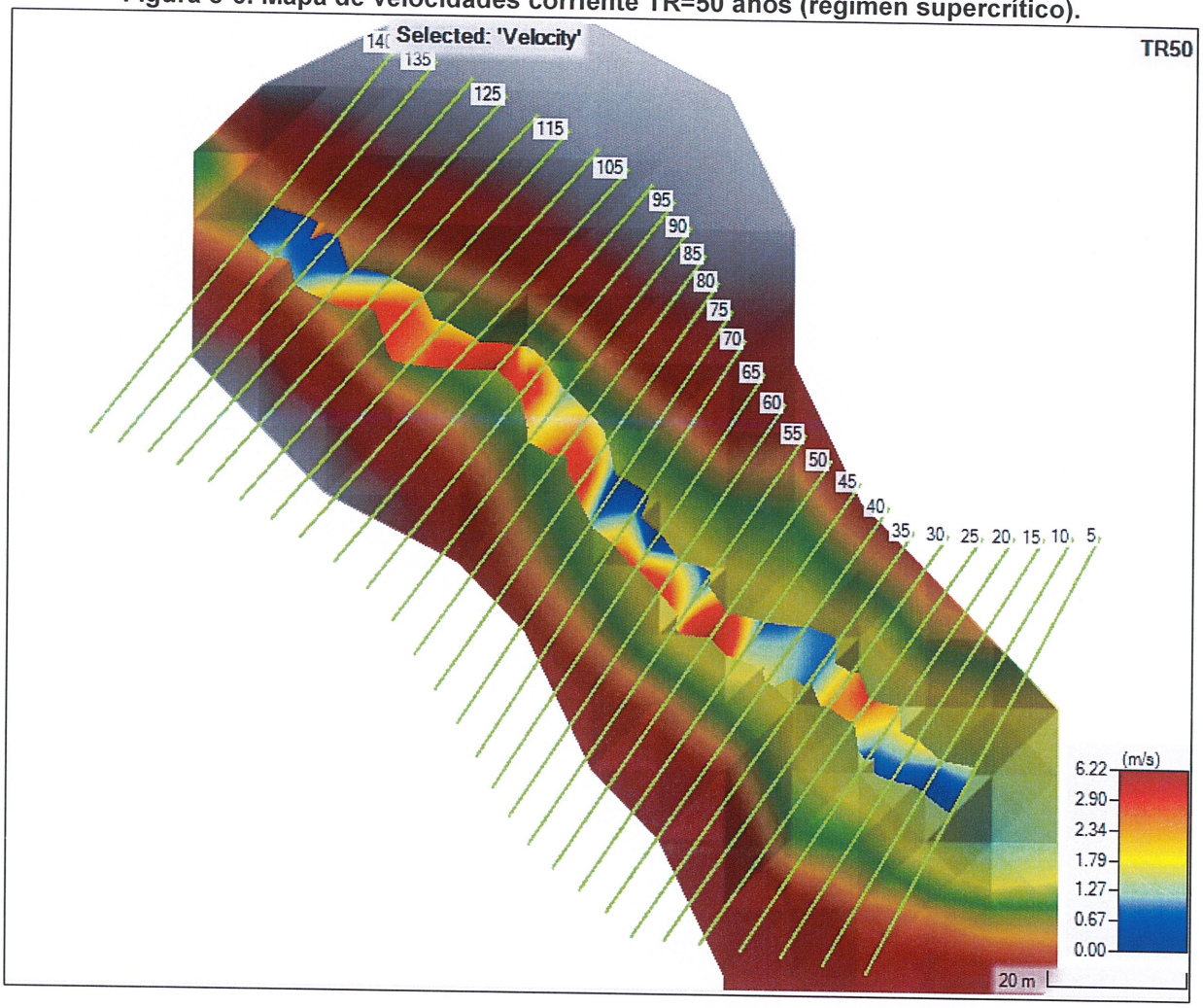
Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – HEC-RAS

Figura 8-5. Mapa de profundidades corriente TR=50 años (régimen supercrítico).



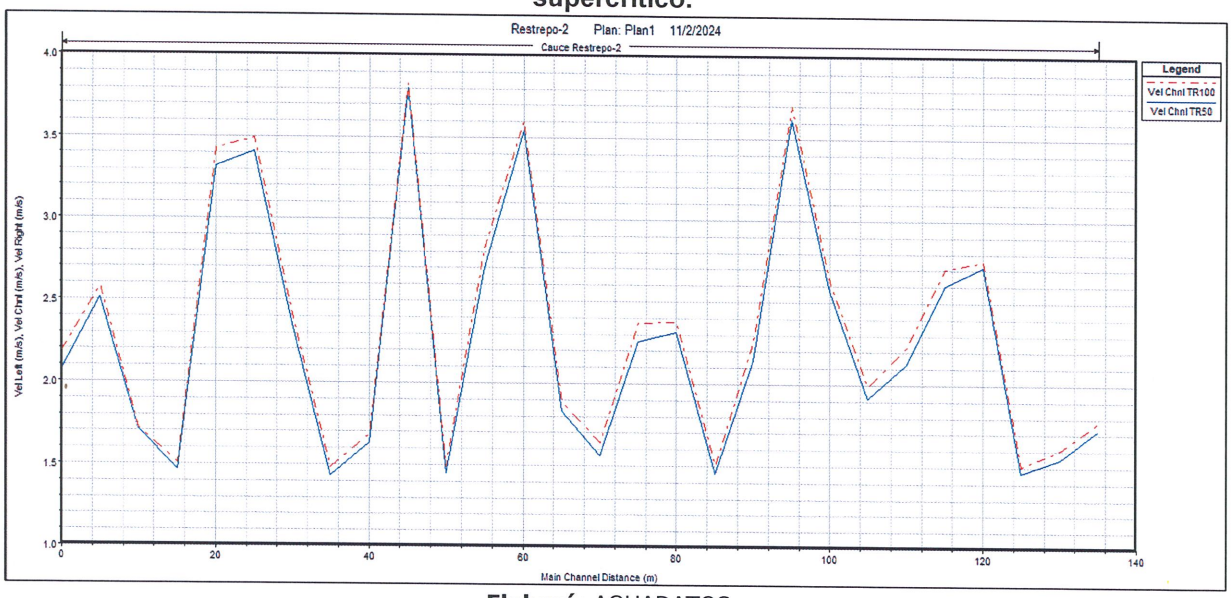
Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – RAS-MAPPER

Figura 8-6. Mapa de velocidades corriente TR=50 años (régimen supercrítico).



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – RAS-MAPPER

Figura 8-7. Perfil de velocidades en la corriente (eje) TR=50 años; TR=100 años – régimen supercrítico.



Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – HEC-RAS

8.1.5 ANALISIS DE RESULTADOS

8.1.5.1 Corriente del cauce caño cnn2

Con base en los resultados obtenidos previamente en la simulación se pueden realizar las siguientes observaciones y análisis de resultados acordes al objetivo del proyecto:

- ✓ Se observa que para las condiciones críticas evaluadas no se presentan desbordamientos sobre los "hombros" del cauce en estudio y esto es debido a que el punto destinado para el primer paso elevado se encuentra en la parte inicial del cauce, por lo tanto, el caudal en ese punto no es representativo para las condiciones de desbordamiento, y una segunda cauce es que el cauce presenta unas condiciones favorables en cuanto a su ancho, y este ancho de acuerdo con las visitas realizadas y la topografía, es un promedio de 100 metros.
- ✓ En el perfil de la corriente se observa que la distancia de la línea de energía presenta variaciones medias con respecto a la superficie de la lámina de agua, lo que significa que el valor de la expresión $V^2/2g$ es medio, evidenciando un régimen supercrítico.
- ✓ Se presenta a lo largo del cauce una profundidad hidráulica máxima promedio de aproximadamente **0.41 m** para un periodo de retorno de 50 años; Las profundidades hidráulicas máximas se presentan entre el **K0+140 y K0+025** con magnitudes profundidades de **0.57m** y **0.52m** para una periodo de retorno de 50 años. Para la zona de estudio que se encuentra entre la abscisa **K0+015** a **K0+115** se presentan profundidades que van desde **0.27m** a **0.52m**.
- ✓ Para estas condiciones de flujo (supercrítico) con periodo de retorno de 50 años, se presentan velocidades máximas para la zona comprendida en la abscisa **K0+050** de **3.80 m/s**, y en la abscisa **K0+100** de **3.62 m/s**, con un valor promedio de velocidad a

www.aquadatos.com

lo largo del cauce de **2.26 m/s**. Para las velocidades obtenidas en la zona del paso elevado se presentan magnitudes que van desde **1.43 m/s** con máximo de **3.80 m/s**.

- ✓ Para la sección del paso elevado proyectado se estima un nivel máximo de agua promedio con cota **429.56 msnm.**

Mediante el programa de hidráulica versión libre de HEC – RAS se presenta a continuación las tablas que contienen las propiedades hidráulicas para cada una de las secciones evaluadas en la modelación. Se muestra a continuación la tabla resumen con los parámetros hidráulicos cada **5 m**.

8.1.6 TABLAS DE RESUMEN

Las tablas resumen son probablemente la opción más completa y flexible para mostrar los resultados. En esta tabla se muestra para todas las secciones el valor de las principales variables hidráulicas asociadas a un caudal determinado.

- ✓ Min. Ch El (m): Altura mínima del cauce principal.
- ✓ W.S. Elev (m): Cota de la lámina de agua.
- ✓ Crit W.S. (m): Calado crítico.
- ✓ E.G. Elev (m): Elevación de la línea de energía.
- ✓ Vel Chnl (m/s): Velocidad media en el cauce principal.
- ✓ Flow Área (m^2): Área de flujo.
- ✓ Top Width (m): Ancho de la superficie del agua.
- ✓ Hydr Depth (m): Profundidad hidráulica media.
- ✓ Max Channel Depth (m): Profundidad máxima en el cauce.

Tabla 2. Resultados hidráulicos de la corriente principal

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev E	.G. Slope	Vel Chnl	Top Width Froude	# Chl Crit	Depth
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m)		(m)
5	2.8	427.3	427.6	427.6	427.8	0.038	2.1	7.4	1.6	0.3
10	2.8	427.3	427.7	427.8	428.0	0.045	2.5	5.2	1.7	0.5
15	2.8	427.6	428.0	428.0	428.2	0.018	1.7	6.8	1.1	0.4
20	2.8	427.7	428.1	428.1	428.3	0.015	1.5	8.9	1.0	0.4
25	2.8	427.2	427.6	427.7	428.1	0.080	3.3	4.0	2.3	0.5
30	2.8	427.8	428.1	428.2	428.7	0.145	3.4	5.9	2.9	0.4
35	2.8	428.6	428.9	429.0	429.2	0.063	2.4	8.0	1.9	0.4
40	2.8	428.8	429.2	429.2	429.3	0.016	1.4	9.7	1.0	0.4
45	2.8	428.3	428.8	428.8	428.9	0.014	1.6	6.4	1.0	0.5
50	2.8	428.1	428.4	428.6	429.2	0.135	3.8	4.2	2.9	0.5
55	2.8	428.9	429.3	429.3	429.4	0.016	1.5	9.3	1.0	0.4
60	2.8	428.5	428.9	429.0	429.2	0.058	2.7	5.3	2.0	0.5
65	2.8	428.9	429.1	429.3	429.8	0.162	3.6	5.8	3.1	0.4
70	2.8	429.6	430.0	430.0	430.1	0.031	1.8	8.8	1.4	0.4
75	2.8	429.7	430.1	430.1	430.2	0.016	1.6	8.0	1.1	0.4
80	2.8	429.9	430.2	430.2	430.4	0.054	2.3	7.8	1.8	0.4
85	2.8	430.1	430.4	430.5	430.7	0.052	2.3	7.2	1.8	0.4

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev E	.G. Slope	Vel Chnl	Top Width Froude	# Chl Crit	Depth
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m)		(m)
90	2.8	430.5	430.7	430.7	430.8	0.015	1.5	9.0	1.0	0.3
95	2.8	429.7	430.1	430.2	430.3	0.030	2.2	5.7	1.4	0.4
100	2.8	429.7	430.1	430.2	430.7	0.121	3.6	4.4	2.8	0.5
105	2.8	430.4	430.8	430.9	431.2	0.055	2.6	5.7	1.9	0.5
110	2.8	431.0	431.2	431.2	431.4	0.033	1.9	8.2	1.5	0.3
115	2.8	431.1	431.4	431.4	431.6	0.047	2.1	8.3	1.7	0.3
120	2.8	431.2	431.5	431.6	431.9	0.060	2.6	5.9	2.0	0.4
125	2.8	431.5	431.8	432.0	432.2	0.066	2.7	5.7	2.1	0.5
130	2.8	431.9	432.3	432.3	432.4	0.015	1.5	9.0	1.0	0.4
135	2.8	431.8	432.2	432.2	432.3	0.014	1.6	7.4	1.0	0.4
140	2.8	431.3	431.9	431.9	432.0	0.014	1.7	5.4	1.0	0.6

Elaboró: AQUADATOS.
Fuente: Elaboración Propia – HEC-RAS

9 SOCAVACIÓN

La socavación se refiere al aumento de la profundidad del lecho de un curso de agua, provocado por el incremento del nivel del agua durante crecidas, cambios en la forma del cauce o la construcción de elementos como puentes o espigones en el lecho del curso de agua. Esta socavación ocurre en el cauce independientemente de la existencia o no de un puente u otra estructura pues su acción se extiende a todo lo largo y ancho del río donde la tendencia de arrastrar es mayor que a la de depositar.

Por lo tanto, es necesario realizar el estudio correspondiente para encontrar dicha socavación, ya que cambios en la profundidad, ancho y alineamiento del cauce, en forma súbita o progresiva, pueden alterar la estabilidad de la obra proyectada.

La socavación se origina por diversas razones, entre las cuales destacan las siguientes:

- Aumento del caudal durante las crecientes: Durante los periodos invernales, el cauce experimenta un incremento en su caudal, generando una mayor velocidad del agua y, por ende, una socavación más pronunciada en el lecho del río.
- Disminución de la rugosidad del lecho: La pérdida de vegetación en el entorno del río reduce la rugosidad de las laderas del cauce, lo que conlleva a un aumento en la velocidad del agua, así como al arrastre y transporte más significativos de sedimentos.
- Transvase de cuencas: La transferencia de agua de una cuenca a otra modifica la capacidad de arrastre y transporte de sedimentos en las corrientes, alterando así el equilibrio natural del lecho del río.

Para el presente proyecto, la socavación fue calculada en dos partes (Caño nn2) para un caudal de creciente de **2.80 m^3/s** a 50 años, teniendo en cuenta los resultados de láminas obtenidas de la modelación hidráulica y de los análisis realizados al estudio de suelos.

9.1 SOCAVACIÓN

9.1.1 MÉTODOLOGIA SOCAVACIÓN GENERAL DE LISCHTVAN-LEVEDIEV (1956)

El método propuesto por Lischtvan-Levediev es el más usado en Colombia para el cálculo de la socavación general incluyendo el efecto de la contracción de un puente. Se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente (Vr) y la velocidad media erosiva (Ve). La velocidad erosiva no es la que da inicio al movimiento de las partículas en suelos sueltos, sino la velocidad mínima que mantiene un movimiento generalizado del material del fondo. Si el suelo es cohesivo, es la velocidad que es capaz de levantar y poner el sedimento en suspensión. La velocidad erosiva es función de las características del sedimento de fondo y de la profundidad del agua. La velocidad real está dada principalmente en función de las características del río: pendiente, rugosidad y tirante o profundidad del agua.

Según Lischtvan-Levediev las expresiones para evaluar la socavación general son las siguientes:

Para suelos granulares:

$$Ys = \left[\frac{\alpha\, Yo^{5/3}}{0.68\, Dm^{0.28}\beta}\right]^{\frac{1}{1+z}}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{Qd}{(Hm)^{5/3}\, Be\, \mu}$$

Ys= Desnivel entre la superficie del agua, al pasar la avenida y el fondo erosionado.
Ys , Yo = Se miden en cada sección vertical donde se desea hacer el cálculo.
Ho= Desnivel entre la superficie del agua, al pasar la avenida, y el nivel del fondo original (medido antes de la avenida).
Ym= Tirante medio medido entre la superficie del agua al pasar la avenida y el fondo original. Se obtiene de dividir el área hidráulica entre el ancho de la superficie libre Be.
Wo= Ancho libre de la superficie al presentarse la avenida.
Qd= Caudal de diseño.
Dm= Diámetro medio; si el material del fondo es friccionante.
ys = Peso volumétrico seco; si el material es cohesivo.
x,z= Exponentes en función de Dm o ys según el tipo de material del fondo.
ψ = Coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión.
β = Coeficiente, depende del período de retorno del gasto de diseño.
μ = Coeficiente que depende de la contracción del cauce.

Tabla 3. Valores de coeficiente de contracción

VELOCIDAD MEDIA EN m/seg	LUZ LIBRE ENTRE DOS PILAS, EN METROS												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
	COEFICIENTE μ												
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.0	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.0	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.0	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
4 o mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Fuente: Maza, 1967

Tabla 4. Valores de x y z

Suelos Cohesivos						Suelos Granulares					
Yd	x	1/(1+x)	Yd	x	1/(1+x)	d (mm)	z	1/(1+z)	d(mm)	z	1/(1+z)
0.80	0.52	0.66	1.20	0.39	0.72	0.05	0.43	0.70	40.00	0.30	0.77
0.83	0.51	0.66	1.20	0.38	0.72	0.15	0.42	0.70	60.00	0.29	0.78
0.86	0.50	0.67	1.28	0.37	0.73	0.50	0.41	0.71	90.00	0.28	0.78
0.88	0.49	0.67	1.34	0.36	0.74	1.00	0.40	0.71	140.00	0.27	0.79
0.90	0.48	0.67	1.40	0.35	0.74	1.50	0.39	0.72	190.00	0.26	0.79
0.93	0.47	0.68	1.46	0.34	0.75	2.50	0.38	0.72	250.00	0.25	0.80

Suelos Cohesivos						Suelos Granulares					
Yd	x	1 1+x	Yd	x	1 1+x	d (mm)	z	1 1+z	d(mm)	z	1 1+z
0.96	0.46	0.68	1.52	0.33	0.75	4.00	0.37	0.73	310.00	0.24	0.81
0.98	0.45	0.69	1.64	0.32	0.76	6.00	0.36	0.74	370.00	0.23	0.81
1.00	0.44	0.69	1.64	0.31	0.76	8.00	0.35	0.74	450.00	0.22	0.83
1.04	0.43	0.70	1.71	0.30	0.77	10.00	0.34	0.75	570.00	0.21	0.83
1.08	0.42	0.70	1.80	0.29	0.77	15.00	0.33	0.75	750.00	0.20	0.83
1.12	0.41	0.71	1.89	0.28	0.78	20.00	0.32	0.76	1000.00	0.19	0.84
1.16	0.40	0.71	2.00	0.27	0.79	25.00	0.31	0.76			

Fuente: Maza, 1967

Tabla 5. Valores de β

Probabilidad (en % de que se presente el caudal de diseño)	Coeficiente β
100.00	0.77
50.00	0.82
20.00	0.86
10.00	0.90
5.00	0.94
2.00	0.97
1.00	1.00
0.30	1.03
0.20	1.05
0.10	1.07

Fuente: Maza, 1967

Se dispone de un importante número de relaciones para estimar la erosión general en un rio ante un aumento del caudal, que se pueden aplicar tanto a la sección global como a la segmentada. Teniendo el análisis de seis metodologías, desde el punto de vista conceptual, una de las hipótesis fundamentales en que se basan estos métodos es la igualdad entre la velocidad media del flujo en una franja vertical y la velocidad de equilibrio para mantener un transporte solido generalizado en el lecho. Por lo tanto, se encontró que los métodos pueden reducirse a ecuaciones particulares de la relación genera siguiente:

$$Hs = \frac{C_0\, q^{C_1}}{d^{C_2}}$$

Donde Hs es la profundidad media en una franja vertical del cauce una vez producida la erosión máxima, q es el caudal por unidad de ancho en esa franja y d es el tamaño mediano de las partículas de sedimento del lecho en la sección (d= d50). Las constantes C0, C1 y C2 adquieren diferentes valores según sea el método considerado.

Tabla 6. Parámetros de la ecuación general de erosión general

Formula	c0	c1	c2
Lischtvan - Lebediev	0.333	0.710	0.199
Laursen	0.205	0.860	0.284
Blench	0.380	0.667	0.167

AQUADATOS www.aquadatos.com edesa

Maza A. - García F.	0.209	0.870	0.305
Maza A. - Echavarría A.	0.365	0.784	0.157
Kellehals	0.470	0.800	0.120

Fuente: Erosión general en ríos- Instituto de Recursos Hídricos

9.1.2 MÉTODO DE MAZA

El ingeniero J.A. Maza, sugiere seguir los lineamientos establecidos por Lischtvan, este método se basa en las ecuaciones de la velocidad mínima necesaria para erosionar el material de fondo, en función del diámetro d84 de la muestra del lecho; diámetro que permite considerar las condiciones de acorazamiento que se pueden presentar en el cauce.

$$Y_s = \left(\frac{a y^{\frac{5}{3}}}{4.7 {d_{84}}^{0.28} \beta}\right)^{\frac{{d_{84}}^{0.03}}{0.322+{d_{84}}^{0.03}}}$$

9.1.3 MÉTODO DE CAMPO – ORDOÑEZ

Para conocer los factores que inducen la profundización de la sección transversal al influjo de un caudal dado, los investigadores Germán Del Campo, Jaime A. Vargas y María del Rosario Gutiérrez, bajo la dirección de J.I. Ordóñez, investigaron más de 3.000 aforos líquidos y sólidos en estaciones de primer orden de cuencas hidrográficas en Colombia. Un aforo líquido en una estación hidrométrica de primer orden consiste en un grupo de 15 a 20 valores de profundidad (pi) y caudal (qi), y el registro completo de aforos en cada estación genera un conjunto más amplio de parejas pi, qi, que se puede interpretar independientemente de los valores absolutos de Q y P. Mientras que los valores de velocidad Vi y de número de Froude Fi se pueden considerar como variables derivadas de las dos anteriores de acuerdo con las ecuaciones (24) y (25) deducidas teóricamente como a continuación se presenta.

El caudal por unidad de ancho en un sector cualquiera de una sección se expresa por:

$$qi = \frac{Qi}{Bi}$$

El número de Froude en la franja cualquiera i se puede expresar por:

$$Fi = \frac{Vi}{\sqrt{gPi}}$$

Los investigadores encontraron que, sistemáticamente cada aforo presenta la máxima profundidad, y por lo tanto el mínimo nivel del lecho, (máxima "socavación general"), en la franja de máximo caudal unitario qi max o q max por simplificación; haciendo un nuevo conjunto con las parejas qmáx, Pmax, encontraron que estas cumplen con una relación biunívoca, independientemente del valor de Q y de la sección transversal o estación utilizada en ríos con una gama amplia de tamaño de sedimento, siempre y cuando los números de

AQUADATOS www.aquadatos.com edesa

Froude del flujo sean similares; de hecho encontraron relaciones diferentes para ríos de llanura, (F<0.4), y ríos de característica torrencial, (F>0.4).

Las ecuaciones obtenidas permiten calcular la máxima profundidad de flujo Pmáx para un cierto valor de qmáx, de acuerdo con la ecuación general de número de Froude correspondiente, llamado por simplicidad Fm, aun cuando obviamente no es el máximo valor del número de Froude en la sección sino el correspondiente a la franja de qmáx y Pmáx.

después de analizar estadísticamente los aforos, los investigadores encuentran una relación relativamente buena entre Fmáx y el valor promedio del número de Froude para toda la sección Fprom, así:

$$Fmax = 0.71Fprom + 0.10 \qquad para\ (F > 0.4)$$

Igualmente obtuvieron una relación aceptable para qmax en función de qprom= Q/T así:

$$qmax = 1.271\ \left({}^{Q}/_{T}\right)^{1.271} \qquad para\ (F > 0.4)$$

Mientras que la mejor correlación obtenida para Pmax es:

$$Pmax = 0.4671 qmax^{0.706}\ Fmax^{-0.512}$$

Así, aplicando las ecuaciones de cada uno de los métodos, se obtuvieron las siguientes profundidades de socavación en todo el tramo evaluado.

Tabla 7. Profundidades de socavación de CAÑO N2 TR=50 AÑOS

							Lischtvan	Ordoñez	Maza
ABSCISA	COTA AGUAS MAXIMAS	A(M2)	ANCHO (M)	Ho (m)	V (m/s)	Froud	Hs 1 (m)	Ys 2 (m)	Ys 3 (m)
5	427.56	1.35	7.42	0.25	2.07	1.55	1.33	0.21	0.19
10	427.69	1.11	5.16	0.38	2.51	1.73	2.31	0.28	0.35
15	428.01	1.63	6.84	0.39	1.72	1.12	1.73	0.27	0.25
20	428.14	1.91	8.94	0.43	1.47	1.01	1.83	0.22	0.27
25	427.57	0.84	3.95	0.36	3.32	2.30	2.66	0.31	0.40
30	428.07	0.82	5.86	0.25	3.41	2.91	2.14	0.19	0.32
35	428.87	1.19	7.98	0.3	2.35	1.94	1.98	0.18	0.29
40	429.2	1.96	9.65	0.36	1.43	1.01	**1.49**	**0.20**	**0.22**
45	428.75	1.71	6.43	0.45	1.63	1.01	1.88	0.29	0.28
50	428.41	0.74	4.2	0.3	3.8	2.90	2.56	0.26	0.39
55	429.28	1.93	9.31	0.43	1.45	1.02	1.84	0.21	0.27
60	428.87	1.04	5.28	0.35	2.7	1.95	2.29	0.26	0.34
65	429.14	0.79	5.78	0.26	3.55	3.06	2.33	0.19	0.35
70	429.96	1.53	8.81	0.32	1.83	1.40	1.67	0.19	0.24
75	430.12	1.79	8.02	0.4	1.56	1.05	1.72	0.24	0.25
80	430.16	1.24	7.82	0.28	2.26	1.81	1.72	0.19	0.25
85	430.42	1.21	7.2	0.28	2.32	1.80	1.71	0.20	0.25

AQUADATOS www.aquadatos.com edesa

							Lischtvan	Ordoñez	Maza
ABSCISA	COTA AGUAS MAXIMAS	A(M2)	ANCHO (M)	Ho (m)	V (m/s)	Froud	Hs 1 (m)	Ys 2 (m)	Ys 3 (m)
90	430.73	1.92	8.99	0.27	1.46	1.01	1.05	0.22	0.15
95	430.09	1.3	5.74	0.36	2.15	1.44	1.89	0.28	0.28
100	430.05	0.77	4.37	0.33	3.62	2.75	2.78	0.26	0.42
105	430.81	1.09	5.71	0.37	2.57	1.88	2.40	0.25	0.36
110	431.19	1.46	8.24	0.24	1.92	1.45	1.22	0.20	0.17
115	431.35	1.31	8.25	0.24	2.13	1.70	1.38	0.19	0.20
120	431.54	1.07	5.9	0.34	2.61	1.95	2.26	0.23	0.34
125	431.83	1.03	5.71	0.34	2.72	2.05	2.32	0.24	0.35
130	432.26	1.91	8.98	0.39	1.46	1.01	1.63	0.22	0.24
135	432.2	1.81	7.44	0.36	1.55	1.00	1.45	0.26	0.21
140	431.86	1.62	5.44	0.57	1.73	1.01	2.45	0.34	0.37

Fuente: Elaboración Propia – HEC RAS.

Tabla 8. Profundidades de socavación de caño n2 TR=100 AÑOS

							Lischtvan	Ordoñez	Maza
ABSCISA	COTA AGUAS MAXIMAS	A(M2)	ANCHO (M)	Ho (m)	V (m/s)	Froud	Ys 1 (m)	Ys 2 (m)	Ys 3 (m)
5	427.57	1.46	7.59	0.26	2.19	1.59	1.38	0.23	0.20
10	427.71	1.24	5.43	0.4	2.58	1.72	2.38	0.30	0.36
15	428.04	1.86	7.21	0.42	1.72	1.08	1.78	0.29	0.26
20	428.16	2.13	9.44	0.45	1.5	1.01	1.87	0.24	0.28
25	427.59	0.93	4.14	0.38	3.42	2.30	2.76	0.34	0.42
30	428.08	0.92	6.1	0.26	3.49	2.88	2.15	0.21	0.32
35	428.89	1.33	8.42	0.32	2.41	1.94	2.07	0.19	0.31
40	**429.22**	**2.16**	**9.87**	**0.38**	**1.48**	**1.01**	**1.54**	**0.23**	**0.22**
45	428.78	1.9	6.69	0.48	1.69	1.01	1.97	0.32	0.29
50	428.43	0.83	4.39	0.32	3.83	2.81	2.65	0.29	0.40
55	429.3	2.15	9.83	0.45	1.49	1.02	1.89	0.23	0.28
60	428.89	1.13	5.45	0.37	2.82	1.98	2.42	0.28	0.36
65	429.15	0.89	6.02	0.27	3.6	3.00	2.32	0.21	0.35
70	429.97	1.69	9.2	0.33	1.89	1.41	1.69	0.21	0.25
75	430.14	1.95	8.33	0.42	1.64	1.08	1.81	0.26	0.27
80	430.17	1.35	8.01	0.29	2.37	1.85	1.77	0.21	0.26
85	430.44	1.35	7.58	0.3	2.37	1.80	1.79	0.22	0.26
90	430.75	2.13	9.24	0.29	1.51	1.00	1.11	0.24	0.16
95	430.1	1.41	5.93	0.37	2.26	1.48	1.94	0.30	0.29
100	430.07	0.86	4.56	0.35	3.7	2.71	2.88	0.28	0.44
105	430.83	1.22	6.03	0.39	2.63	1.87	2.47	0.26	0.37
110	431.2	1.61	8.5	0.25	1.99	1.46	1.24	0.22	0.18
115	431.37	1.43	8.55	0.26	2.23	1.74	1.50	0.20	0.22
120	431.55	1.18	6.17	0.35	2.71	1.98	2.29	0.25	0.34
125	431.85	1.16	6.06	0.36	2.75	2.00	2.39	0.25	0.36
130	432.29	2.12	9.36	0.42	1.51	1.01	1.73	0.24	0.25
135	432.23	1.99	7.69	0.39	1.61	1.01	1.56	0.28	0.23
140	431.89	1.8	5.74	0.6	1.78	1.01	2.53	0.37	0.38

AQUADATOS www.aquadatos.com edesa

Fuente: Elaboración Propia – HEC RAS.

Tabla 9. Socavación métodos generales en el Punto de estudio TR=100 AÑOS

ABSCISA 40				
Caudal por unidad de Ancho q	0.324	m2/s		
	c0	**c1**	**c2**	**hs (m)**
Lischtvan - Lebediev	0.333	0.710	0.199	0.78
Laursen	0.205	0.860	0.284	0.82
Blench	0.380	0.667	0.167	0.72
Maza A. - García F.	0.209	0.870	0.305	0.98
Maza A. - Echavarría A.	0.365	0.784	0.157	0.56
Kellehals	0.470	0.800	0.120	0.52

Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la tabla anterior las profundidades obtenidas para las secciones evaluadas en el Caño Cnn2, hay que tener en cuenta que dicha socavación obedece únicamente a la producida por acción del lecho del cauce.

10 *CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES*

CONCLUSIONES

- ✓ El presente documento contiene los resultados derivados de la consultoría que tenía como objeto la realización del estudio hidrológico, hidráulico y de socavación de la corriente del Caño nn2 para la construcción de los pasos elevados del sistemas de alcantarillado de aguas residuales asociado al proyecto "***ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DEL EMISARIO FINAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO DISTRITO OCCIDENTAL DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DEL RESTREPO, META***"
- ✓ Se llevó a cabo el análisis hidrológico de la zona utilizando datos proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La información procede de la estación pluviométrica que circunda el proyecto, que se encarga de registrar mediciones de lluvia en la zona de estudio.
- ✓ Para el cálculo de las curvas de intensidad, duración y frecuencia, se optó la metodología de Gumbel, de acuerdo con los resultados obtenidos mediante el análisis realizado en la prueba de Kolmogórov-Smirnov.
- ✓ Para el cálculo de los caudales de creciente se hizo uso del método del SCS por medio del modelo lluvia escorrentía del hidrograma unitario y el curve number en el software HEC – HMS. Así, se obtuvo un caudal de creciente de **2.80 m^3/s (TR=50 Años),** para la corriente del Caño nn2.
- ✓ Se efectuó la modelación hidráulica del tramo del Caño nn2 por medio del software HEC – RAS para entender las características hidrodinámicas y el comportamiento y respuesta del cauce cuando se presenten las crecientes de diseño obteniendo los mapas de profundidades y velocidades. **Ver análisis y resultados.** Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de ambas modelaciones, para el paso elevado proyectado se estima un nivel máximo de agua promedio con cota **429.56 msnm.**
- ✓ Considerando las notables variaciones entre métodos en cuanto a la profundidad de socavación, es importante destacar que estas diferencias no implican necesariamente errores, sino más bien reflejan las distintas metodologías de cálculo empleadas. En este análisis, se ha empleado el dato H(m), que denota el tirante promedio medido entre la superficie del agua y el fondo original.
- ✓ La socavación calculada para la sección proyectada en el punto del paso elevado sobre Caño nn2 en la abscisa **K0+040** es de aproximadamente **0.64 m para un periodo de retorno de 50 años,** se recomienda adoptar **0.70 m** como profundidad mínima a partir del lecho del caño, para realizar las debidas protecciones a las estructuras proyectadas o en su defecto asociar la profundidad de socavación a la abscisa correspondiente.

11 *ANEXOS*

- **ANEXO 1.** RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN (VER EN DIGITAL)
- **ANEXO 2.** CALCULOS HIDROLOGICOS (VER EN DIGITAL)
- **ANEXO 3.** MODELOS HEC-HMS (VER EN DIGITAL)
- **ANEXO 4.** SHAPEFILES (VER EN DIGITAL)
- **ANEXO 5.** MODELACIONES HIDRÁULICAS. EN HEC-RAS (VER EN DIGITAL)
- **ANEXO 6.** CALCULOS DE SOCAVACIÓN (VER EN DIGITAL)
- **ANEXO 7.** PLANO MANCHA DE INUNDACIÓN (VER EN DIGITAL Y FISICO)

12 BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays, (1994). Hidrología Aplicada. McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.
- ✓ Ven Te Chow, (1994). Hidráulica de Canales Abiertos. McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.
- ✓ Ricardo Alfredo López Cualla, I (1995). ELEMENTOS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS. Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
- ✓ Rodrigo Vargas M, Mario Diaz Granados, (1998). CURVAS SINTÉTICAS REGIONALIZADAS E INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA PARA COLOMBIA. Universidad de los Andes, Santa Fe de Bogotá D.C.
- ✓ Víctor Miguel Ponce, (1999). [En línea]. Disponible en: http://ponce.sdsu.edu/.
- ✓ MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, (2009). Manual de Drenaje para Carreteras.
- ✓ VALIDACIÓN DE LAS FORMULAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (Eto) PARA COLOMBIA, (2017). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.
- ✓ Methodology for the estimation of minimum flows of a hydrographic basin with little hydrometeorological information, (2017). Sánchez, C; Vera, F; Luna, A; Espinoza, J; Bustamante; A; Cárdenas, J; Lucero, W. Universidad Técnica de Machala.
- ✓ Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, (2017). RESOLUCIÓN NUMERO 0330 DE 2017.
- ✓ Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

ANEXO 1. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN (VER EN DIGITAL)

AQUADATOS

ANEXO 2. CALCULOS HIDROLOGICOS (VER EN DIGITAL)

AQUADATOS

ANEXO 3. MODELOS HEC-HMS0
(VER EN DIGITAL)

AQUADATOS

ANEXO 4. SHAPEFILES
(VER EN DIGITAL)

AQUADATOS

ANEXO 5. MODELACIONES HIDRÁULICAS. EN HEC-RAS

(VER EN DIGITAL)

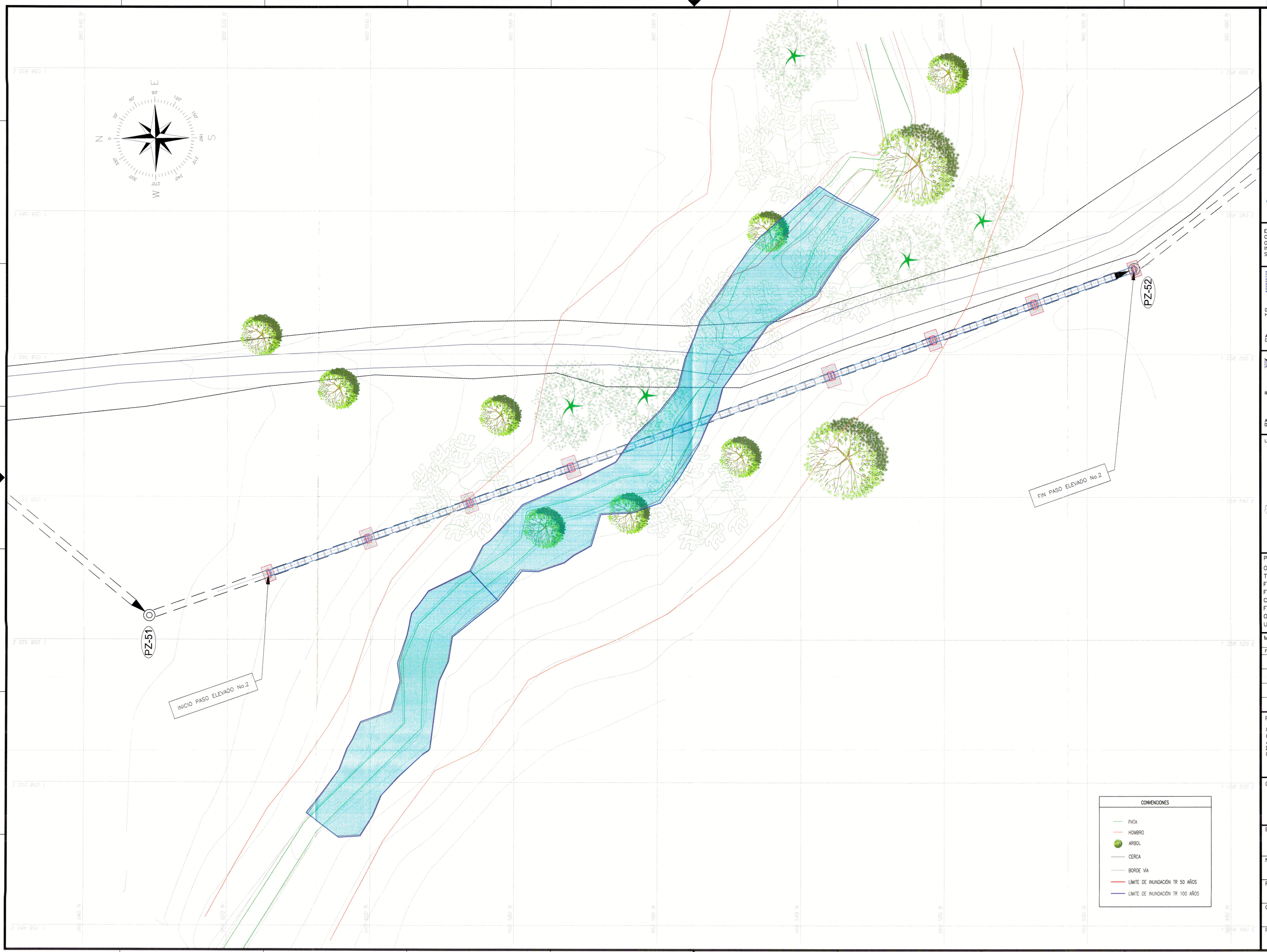
AQUADATOS

ANEXO 6. CALCULOS DE SOCAVACIÓN (VER EN DIGITAL)

AQUADATOS

ANEXO 7. PLANO MANCHA DE INUNDACIÓN (VER EN DIGITAL Y FISICO)

AQUADATOS



GOBERNACIÓN DEL META

GOBERNACIÓN DEL META

EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DEL META
NIT: 822.006.587–0
Gestor del Plan Departamental de Aguas del Meta

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, AMPLIACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE OBRAS DE REDES E INFRAESTRUCTURA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO EN LOS MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DEL META.

AQUADATOS S.A.S.
NIT: 830.062.201–0
Contrato Consultoría
Contrato No.: 081 de 2023

DISEÑO HIDRÁULICO: ING. MAURICIO CRUZ GÓMEZ M.P. No. 25202-211038/CND

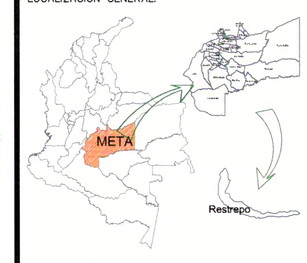
APROBÓ DIRECTOR: ING. MAURICIO CRUZ GÓMEZ M.P. No. 25202–211038 CND

CONSORCIO INTERCONSULTA 2023
NIT: 901.720.639–0
Contrato Interventoría
Contrato No.: 085 de 2023

REVISÓ: ING. JOSÉ CARLOS VENGARA MENDOZA M.P. No. 13202–096488 BLV

APROBÓ DIRECTOR: ING. ALEXANDER LUCUMÍ DÍAZ M.P. No. 762371–27409 VLL

LOCALIZACIÓN GENERAL:



PROYECCIÓN CARTOGRAFICA:
Origen Bogotá–Magna
Transversa de Mercator
Falso Este 1.000.000
Falso Norte 1.000.000
Central meridiano –74.07750792
Factor de escala 1.00000
Origen: Longitud 4.59620042
Unidades Metros

MODIFICACIONES:

FECHA	VERSIÓN	OBSERVACIÓN

PROYECTO:

OBRAS PARA EL MEJORAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DEL EMISARIO FINAL DE ALCANTARILLADO SANITARIO DEL DISTRITO OCCIDENTAL DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE RESTREPO–META.

CONTIENE:

MANCHA DE INUNDACIÓN CAÑO NN2 – PASO ELEVADO TIPO CERCHA DE ALCANTARILLADO SANITARIO

ESCALA: INDICADAS

ADVERTENCIA: SI ESTA BARRA NO MIDE 2.5 CM EL PLANO NO ESTÁ A ESCALA

NOMBRE DEL ARCHIVO: AQ–148–PL–RES1–HDR–CNN2–V.1.DWG

FECHA DEL PLANO: FEBRERO DE 2024

CODIGO: AQ–148–PL–RES1–HDR–CNN2–01

PLANO No. 01/01

APROBACIÓN INTERVENTORIA

AQUADATOS

CONSORCIO INTERCONSULTA 2023
NIT: 901.720.639-3

Villavicencio (Meta), 26 de febrero de 2024

APROB-081-23-104

Señores
AQUADATOS S.A.S
Atn. Mauricio Cruz Gómez, Director de Consultoría
admonvillavicencio@aquadatos.com
La ciudad

REF: Contrato de consultoría N° 081 de 2023 que tiene por objeto "ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, AMPLIACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE OBRAS DE REDES E INFRAESTRUCTURA DE AGUA POTABLE y SANEAMIENTO BÁSICO EN LOS MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DEL META"

Asunto: **APROBACIÓN Informe de estudio hidrológico, hidráulico y de socavación del caño NN2 AQ-148- RES1-HDR-CNN2-V.1 , municipio de Restrepo- Meta**
Respuesta a su oficio TEC-148-24-035 de fecha 22 de febrero de 2024.

Cordial saludo,

Teniendo en cuenta el oficio según asunto, mediante el cual nos radican para revisión y aprobación por parte de la interventoría el **producto Informe de estudio hidrológico, hidráulico y de socavación del caño NN2 - AQ-148- RES1-HDR-CNN2-V.1 del subproyecto "ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DEL EMISARIO FINAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO DISTRITO OCCIDENTAL DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DEL RESTREPO, META"**, en su versión inicial con sus respectivos anexos.

El cual contempla como exigencias mínimas descritas en el numeral 1.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS del pliego de condiciones del CONCURSO DE MÉRITOS -ABIERTO No. CM-OAP-002-2023 lo siguiente:

#	DESCRIPCIÓN	DETALLE ESPECIFICACIONES	CUMPLE	NO CUMPLE
D.	Estudio hidrológico (caso red de alcantarillado sanitario).	El consultor deberá realizar un estudio hidrológico en la estimación de los caudales de aguas lluvias para el diagnóstico o diseño de colectores. El alcance del estudio hidrológico estará de acuerdo a la metodología de obtención de caudales de aguas lluvias propuesta por la Resolución 0330 de 2017 en su artículo 135 o la que la modifique.	SI	

AQUADATOS RECIBIDO
NOMBRE Kam
FECHA 26-02-2024
HORA 3pm

Consorciointerconsulta2023@gmail.com
Cel. 3104290102 – Cr 4 este # 15-148

Una vez efectuada la respectiva revisión técnica por parte del equipo de profesionales de la interventoría, se certifica que lo mencionado anteriormente fue presentado por la consultoría en su totalidad, con la precisión y especificaciones según los lineamientos establecidos, por consiguiente, imparte la **producto Informe de estudio hidrológico, hidráulico y de socavación del caño NN2- AQ-148- RES1-HDR-CNN2-V.1 del subproyecto "ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DEL EMISARIO FINAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO DISTRITO OCCIDENTAL DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DEL RESTREPO, META"**.

Sin otro particular,

JOSÉ ALEJANDRO BALLÉN SUÁREZ
C.C. 80037996
REPRESENTANTE LEGAL
CONSORCIO INTERCONSULTA 2023

Revisó:	José Carlos Vergara Mendoza	ingeniero Hidráulico	Firma:
Aprobó:	Alexander Lucumi Diaz	director de interventoría	Firma: