

**“MEJORAMIENTO DE VIAS URBANAS EN CONCRETO MR 41
(Estampado), EN LA CALLE DE LA LOGIA Y CALLE DE LAS DAMAS,
EN EL MUNICIPIO DE MAGANGUE, DEPARTAMENTO DE BOLIVAR”**

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRAULICO

**SECRETARIA DE PLANEACION
MUNICIPIO DE MAGANGUE**

MAYO DEL 2026

RESUMEN.

Este documento pretende aportar una metodología que permita realizar un análisis Hidrológico e hidráulico para determinar la altura hidráulica del bordillo, que permitirá direccionar el flujo a su cauce natural en las vías tramos Cra 4A y Cra 4 en el municipio de Magangué departamento de Bolívar. Para realizar este estudio debemos contar con la información climatológica, modelo digital de elevaciones (Dem) y levantamientos topográficos de la zona, y para la realización del modelamiento utilizaremos el Softwares, ArcGIS Pro, y Hec Ras.

INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION	4
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO	5
2.1 Objetivo General	5
2.2. Objetivos Específicos	5
3. ASPECTOS GENERALES DE SIMULACION HIDROLOGICA	5
3.1 Generalidades de la simulación hidráulica	5
3.2 Diseño hidráulico e hidrológico	6
3.2.1 Determinación de caudales	6
3.2.2. Transformación de la lluvia de escorrentía	6
3.2.3. Tránsito de caudales	6
3.2.4 Distribuciones de probabilidad empleadas para seleccionar la lluvia de diseño	7
4. CARACTERISTICAS GENERALES DEL ÁREA EN ESTUDIO	8
4.1 Localización del área de estudio	8
4.2 Características generales del área de estudio	9
4.2.1 Clima	9
5. MODELACION HIDROLOGICA DEL SECTOR	10
5.1 Tratamiento de la cuenca	10
5.2 Mediciones pluviométricas	11
5.3 Procesamiento y análisis de la información	25
6. PARAMETROS DE DISEÑO	30
6.1 Velocidad mínima	30
6.2 Velocidad máxima	30
6.3 Coeficiente de rigurosidad	30
6.4 Parámetros para el cálculo de caudal de diseño	31
6.5 Periodo de retorno de diseño	32
6.6 Áreas de drenaje	32
6.7 coeficiente de escorrentía	32
6.8 Tiempo de concentración	33
6.9 Intensidad de precipitación	33
7 Datos	33
8. CAUDAL DE DISEÑO	34
9.0 MODELACIÓN MATEMÁTICA – DISEÑO HIDRÁULICO	34
9.1 Dimensionamiento de los bordillos de la vía.	34
9.2 Metodología empleada	35
9.2.1 Software HEC-RAS perfil longitudinal del bordillo	35
9.2.2 Software HEC-RAS sección de la vía – bordillo	35
9.2.3 Software HEC-RAS modelación 3D	35
9.2.4 Software HEC-RAS tabla de análisis	35
10 Conclusión y Recomendaciones	36

1. INTRODUCCIÓN.

Las manifestaciones de carácter hidrológico e hidráulico que se originan en las cuencas de drenaje constituyen uno de los sistemas geomorfológicos más destacados que operan en la superficie terrestre. Las cuencas actúan como sistemas de procesos y respuestas en donde la escorrentía superficial es su consecuencia más evidente, además de la responsable de catástrofes y desastres naturales, y de numerosos daños relacionados con las avenidas e inundaciones.

Este informe técnico presenta la metodología y los parámetros de diseño de acuerdo a la **“MEJORAMIENTO DE VIAS URBANAS EN CONCRETO MR 41 (Estampado), EN LA CALLE DE LA LOGIA Y CALLE DE LAS DAMAS, EN EL MUNICIPIO DE MAGANGUE, DEPARTAMENTO DE BOLIVAR”** para el diseño de las estructuras hidráulica tipo - Bordillo.

Para la simulación de la estructura hidráulica se realizó con en el software de modelación matemática **HEC RAS**.

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO.

2.1 Objetivo General.

Realizar los estudios hidrológicos e hidráulicos para determinar la altura hidráulica del bordillo del tramo a pavimentar del proyecto: **“MEJORAMIENTO DE VIAS URBANAS EN CONCRETO MR 41 (Estampado), EN LA CALLE DE LA LOGIA Y CALLE DE LAS DAMAS, EN EL MUNICIPIO DE MAGANGUE, DEPARTAMENTO DE BOLIVAR”**

.

.

2.2 Objetivos específicos.

- Determinar el comportamiento Hidrológico en el sector.
- Establecer la precipitación para diferentes años de retorno.
- Establecer la precipitación de diseño para áreas menores a 2.5 Km².
- Determinar el caudal de diseño (Método Racional).
- Modelación de la estructura hidráulica tipo bordillo en el software Hec Ras.

3. ASPECTOS GENERALES.

3.1 Método Racional.

El método racional se basa en el principio que el caudal máximo se espera en un tiempo igual al tiempo de concentración. Con base en la curva I -F - D se establece la intensidad para la cuenca, luego se determina el caudal pico a través de las áreas de las cuencas que sean menor de 2.5 Km² de conformidad con lo permitido por el Manual de INVIAS.

Para el cálculo del caudal pico a manejar, se utiliza el método Racional, fundamentados en la ecuación.

$$(1) \text{ Ec } Q = 0,278 \times C \times I \times A.$$

Dónde:

Q = Caudal aporte cuenca, m³/s

I = Intensidad de la lluvia de diseño, mm/hor

C = Coeficiente de escorrentía según superficie.

A = Área aferente, km²

3.2.1 Tránsito de caudales. Se denomina propagación de caudales al procedimiento a través del cual se puede determinar el hidrograma de caudal en un punto de un curso de agua utilizando hidrogramas conocidos en uno o más puntos aguas arriba; dicho procedimiento puede aplicarse a sistemas agregados o distribuidos. Cuando se aplica a sistemas agregados, el flujo se calcula como una función del tiempo en un lugar en particular, lo que también se conoce como propagación hidrológica. Cuando se aplica a sistemas distribuidos, el flujo se calcula como una función del espacio y del tiempo a través del sistema, lo que se conoce también como propagación hidráulica. (Nania L, 2003).

3.2 Distribuciones de probabilidad empleadas para seleccionar la lluvia de diseño. Se pueden utilizar diferentes metodologías entre las cuales se puede destacar.

- **Período de retorno.** Se define como el periodo de tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado por lo menos una vez, para fijar el periodo de retorno se tienen en cuenta tres criterios (Barros, 1994).
- **Criterios económicos.** Tales como la comparación de los costos anuales de las obras con los daños producidos por las crecientes.
- **Criterios usuales.** Tales como la vida útil de la obra, tipo de estructura, facilidad de reparación y ampliación, peligro de vidas humanas.
- **Criterio de riesgo.** Se asume por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida. Se define como la probabilidad de ocurrencia $P(X \geq X_0)$ o como la probabilidad de no ocurrencia $P(X < X_0) = 1 - P(X \geq X_0)$.

De acuerdo con Linsley R. (1985), el tiempo de retorno sería usado comúnmente en lugar de la probabilidad P , para definir crecimiento de diseño, los periodos de retorno recomendados según el tipo de proyecto. El periodo de retorno y la probabilidad son recíprocos, es decir:

Ec. (10)

$$P = \frac{1}{T_r}$$

3.3 Hidráulicas de canales.

3.3.1 Flujo uniforme. El flujo uniforme en canal abierto es la condición hidráulica en la cual la profundidad del agua y la sección transversal del canal no cambian sobre algún tramo del canal. Esos criterios requieren que la línea de gradiente hidráulico, la superficie del agua y el fondo del canal sean todos paralelos. En otras palabras, el cambio de energía total sobre la extensión del canal es exactamente igual a la pérdida de energía de la fricción límite y la turbulencia.

Dos ecuaciones de flujo uniforme son frecuentemente usadas para problemas de canales abiertos: la fórmula de Chezy y la ecuación de Manning, las cuales relacionan las siguientes variables (Ven Te Chow 1994).

La fórmula de Chezy fue desarrollada en 1775; ésta relaciona la velocidad del canal a la rugosidad, el radio hidráulico y la pendiente del canal:

$$\text{Ec (11)} \quad V = C\sqrt{RS}$$

Donde;

R = Radio hidráulico.

S = pendiente de energía, la cual es igual a la pendiente del lecho del canal bajo condiciones de flujo uniforme.

El factor C puede ser relacionado al factor de fricción de Darcy F, usado en flujos de tuberías con la relación:

$$\text{Ec (12)} \quad C = \sqrt{8G/F}$$

En donde G es la constante gravitacional.

La ecuación de Chezy está basada en dos asunciones principales: la fuerza de fricción es proporcional al cuadrado de la velocidad y la asunción de flujo uniforme de que la fuerza de gravedad está balanceada por la resistencia friccional de la corriente.

La ecuación de Chezy ha sido usada para flujo en tubería a presión, así como también en flujo de canal abierto. El coeficiente C para condiciones de canal abierto puede ser calculado usando relaciones de Chow V. (1959).

Para aplicaciones más modernas, sin embargo, la ecuación de Manning es usada en vez de la de Chezy para cálculos en canales abiertos. La ecuación de Manning fue presentada en 1890; ésta describe la rugosidad con el coeficiente de rugosidad de Manning. (Ven Te Chow 1994).

Ec (2)

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S}$$

Dónde:

R = Radio hidráulico, o área transversal A dividida por el perímetro humedecido P.

S = pendiente de energía, la cual es igual a la pendiente del lecho del canal bajo condiciones de flujo uniforme.

n = Coeficiente de rugosidad, relacionada a la pérdida de fricción asociada con el fluir del agua sobre el fondo y los lados del canal.

La selección del coeficiente de rugosidad n está basada usualmente en el “mejor juicio ingenieril” o en valores prescritos por ordenanzas de diseño municipal. Están disponibles varias tablas en la literatura general para la selección del coeficiente de rugosidad para un canal, caudal y profundidad del flujo. (Ven Te Chow 1994).

3.3.2 Flujo no Uniforme o Gradualmente Variado.

La distribución previa de flujo uniforme indica que un canal de forma y pendiente constante es un requerimiento para la condición de flujo uniforme. Sin embargo, con una corriente natural, la forma, tamaño y pendiente de la sección transversal varían típicamente a lo largo de la corriente. Tales variaciones producen la condición de flujo no uniforme en la mayoría de los problemas de planos de inundación de interés al ingeniero hidráulico.

Las ecuaciones de flujo uniforme pueden ser aplicadas al caso del no uniforme dividiendo la corriente en trayectos o secciones dentro de las cuales apliquen condiciones uniformes.

En un canal abierto ó corriente natural, el efecto de una grada o pendiente tiende a producir un flujo con un incremento continuo de la velocidad a lo largo del trayecto del flujo. La gravedad está opuesta por la resistencia friccionante, la cual incrementa con la velocidad y eventualmente las dos estarán en balance, para el caso del flujo uniforme.

Cuando las dos fuerzas no están balanceadas, el flujo es no uniforme, y es llamado flujo gradualmente variado si las condiciones cambiantes ocurren sobre una distancia larga, flujo rápidamente variado ocurre cuando hay un cambio abrupto ó transición confinada en una distancia corta. El flujo rápido es cubierto en textos más avanzados que manejan mecánica de fluidos y flujo en canales abiertos. (Wylie and Streeter 1978).

El flujo gradualmente variado puede ocurrir a lo largo del perfil de un canal o corriente natural, en cambios en la sección transversal, la forma o el tamaño, a desviaciones en la corriente y en estructuras tales como presas, puentes o diques.

4. CARACTERISTICAS GENERALES DEL ÀREA EN ESTUDIO.

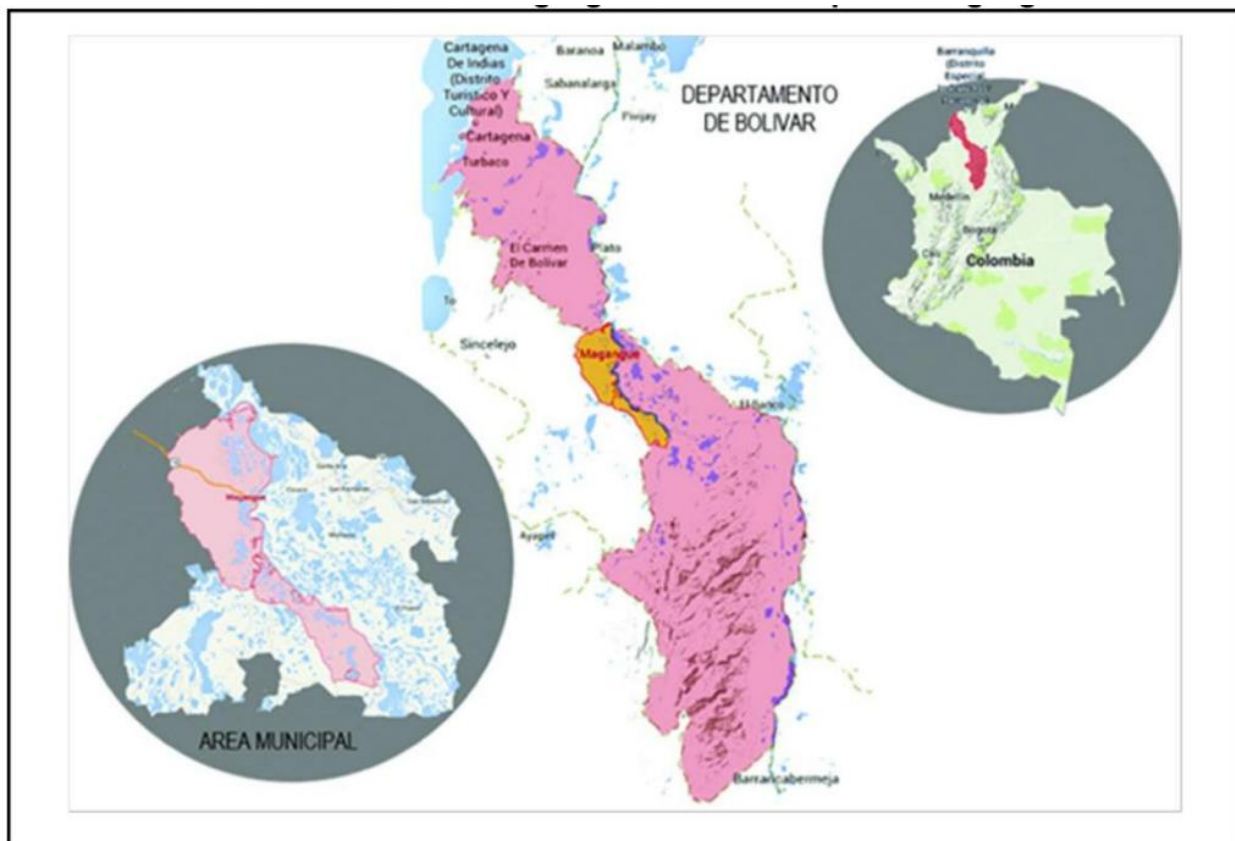
4.1 Descripción Física

El municipio de Magangué se encuentra ubicado en el centro del departamento de Bolívar con coordenadas geográficas $9^{\circ}14'48''N$ latitud y $74^{\circ}45'34''O$ longitud, en la margen occidental del río Magdalena y hace parte de la región geográfica natural denominada Depresión Momposina. Sus límites son los siguientes:

4.2 Límites del municipio

- Al norte limita con el municipio de Córdoba.
- Al sur con los municipios de Pinillos y Achí
- Al occidente con el departamento de Sucre.
- Al oriente con los municipios de Cicuco, Mompos y Pinillos.

Figura 1. Localización geográfica del municipio de Magangué Bolívar



4.3 Vías de comunicación

Terrestres: Magangué posee dos vías de acceso:

- La primera, por la vía Puerta de Hierro (El Bongo), hasta el casco urbano de Magangué. Esta vía comunica al municipio de Magangué con las ciudades de Cartagena, Barranquilla, Sincelejo, Montería, Medellín y Bogotá.
- La segunda, es la interconexión vial Yatí - Bodega, en la cual podemos encontrar uno de los puentes más largos de América Latina. Esta vía comunica a Magangué con Mompox, El Banco, Valledupar, entre otros municipios.

Magangué posee la Terminal Multimodal de Transportes Diego de Carvajal T. que solamente ha entrado en operación fluvial, pero cuenta con un sitio en donde hay destinos principalmente a Cartagena, Barranquilla, Sincelejo, Bogotá y Medellín; además por la zona quedan hoteles, restaurantes, supermercados y almacenes. Sin embargo, Magangué requiere de una terminal terrestre reglamentaria, ya que la terminal fluvial de pasajeros es insuficiente y anti-técnica para este servicio.

Transporte fluvial: La principal vía fluvial de acceso a la ciudad es el Río Magdalena. Magangué posee la Terminal Multimodal de Transportes Diego de Carvajal T. conectada con el Antiguo Puerto Fluvial de Magangué a donde llegan diferentes embarcaciones principalmente de Santa Cruz de Mompox, El Banco, Santa Ana y Barrancabermeja. Esta movió para el 2012 cerca de 600 000 personas, convirtiéndose así en la Terminal Fluvial con mayor movimiento del país, y una de las de mayor movimiento en América. En 2015 se inauguraron tres nuevos muelles y un nuevo Puerto Fluvial.

Transporte aéreo: La dos única entrada a la ciudad por medio aéreo es el Aeropuerto Las Brujas de Corozal, Sucre, y el Aeropuerto de San Bernardo de Mompox ubicada en la villa de Mompox. Anteriormente se utilizaba el Aeropuerto Baracoa de Magangué este tuvo bajas en el tráfico aéreo y tuvo cese de operaciones comerciales; En este solamente pueden aterrizar aviones tipo DC-4.

4.4 Topografía

El municipio presenta en su topografía un relieve ligeramente plano, con pendientes que oscilan entre el 0.3% y el 5%. La hidrografía del municipio de Magangué está localizada en la zona con el mayor número de ciénagas del país: 320 000 hectáreas de las 478 419 del inventario nacional correspondiente a las cuencas del Río Magdalena, que incluye el bajo San Jorge y el bajo Cauca. El territorio que hoy ocupa Magangué está a orillas del antiguo brazo de Loba cuando el río Cauca vertía sus aguas en la Boca de Tacaloa. Hoy lo hace en la Boca de Guamal, por ese motivo se deduce que los primeros habitantes de Magangué fueron de origen zenú.

4.5 Climatología de la zona de estudio

En Magangué, los veranos son cortos, tórridos y secos; los inviernos son cortos, calurosos y mojados y está opresivo y nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 23 °C a 37 °C y rara vez baja a menos de 22 °C o sube a más de 39 °C.

En base a la puntuación de playa/piscina, la mejor época del año para visitar Magangué para las actividades de calor es desde mediados de diciembre hasta finales de febrero.

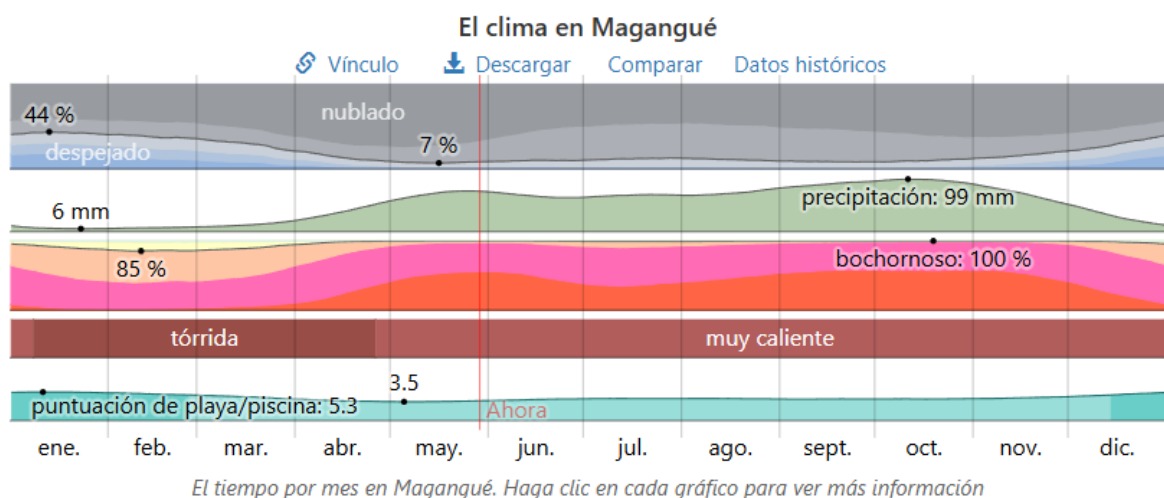


Figura 2; Clima en Magangue

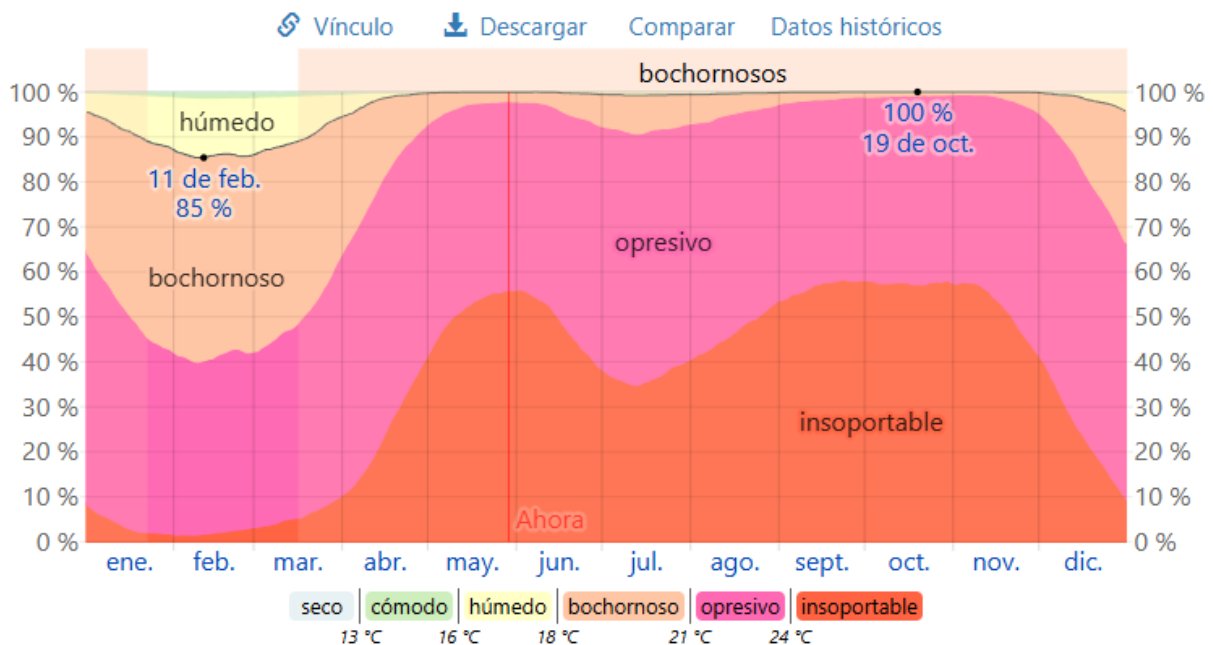
4.5.1 Humedad Relativa

Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que, aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

En Magangué la humedad percibida varía levemente.

El período más húmedo del año dura 10 meses, del 16 de marzo al 22 de enero, y durante ese tiempo el nivel de comodidad es bochornoso, opresivo o insoportable por lo menos durante el 89 % del tiempo. El mes con más días bochornosos en Magangué es octubre, con 31,0 días bochornosos o peor. El mes con menos días bochornosos en Magangué es febrero, con 24,1 días bochornosos o peor.

Figura 3; Niveles de humedad Magangué



El porcentaje de tiempo pasado en varios niveles de comodidad de humedad, categorizado por el punto de rocío.

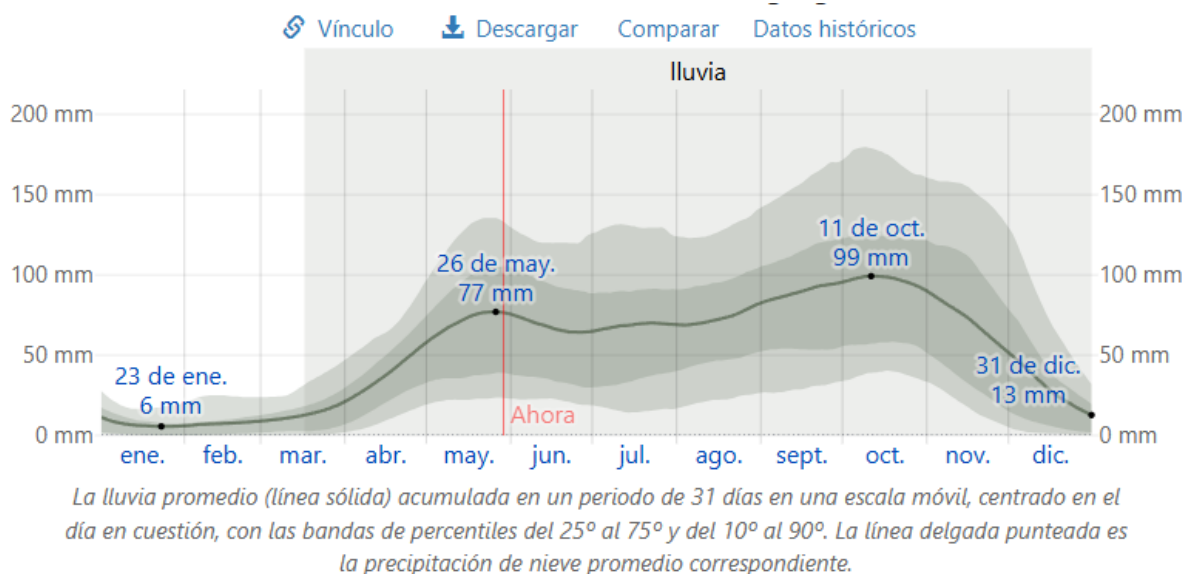
4.5.2 Precipitación

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período de 31 días en una escala móvil centrado alrededor de cada día del año. Magangué tiene una variación considerable de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia dura 9,5 meses, del 17 de marzo al 31 de diciembre, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en Magangué es octubre, con un promedio de 99 milímetros de lluvia.

El periodo del año sin lluvia dura 2,5 meses, del 31 de diciembre al 17 de marzo. El mes con menos lluvia en Magangué es enero, con un promedio de 6 milímetros de lluvia.

Figura 3; Promedio mensual de lluvia en Magangué

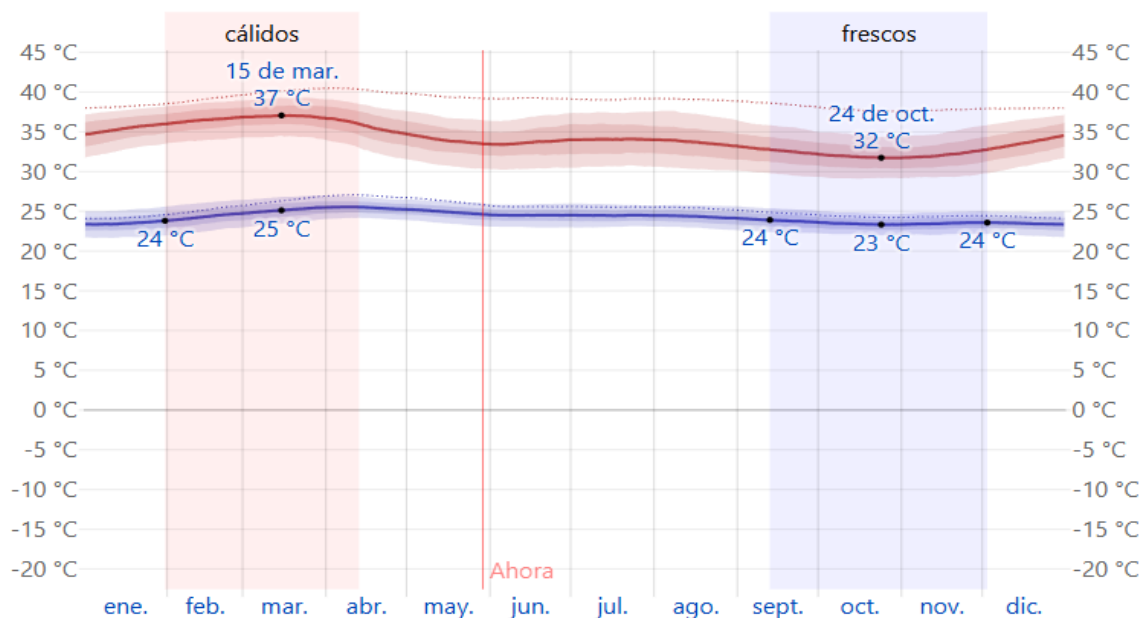


4.5.3 Temperatura

La temporada calurosa dura 2,5 meses, del 31 de enero al 13 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 36 °C. El mes más cálido del año en Magangué es marzo, con una temperatura máxima promedio de 37 °C y mínima de 25 °C.

La temporada fresca dura 2,7 meses, del 13 de septiembre al 2 de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 33 °C. El mes más frío del año en Magangué es octubre, con una temperatura mínima promedio de 23 °C y máxima de 32 °C.

Figura 4: Temperatura máxima y mínima promedio en Magangué



La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25º a 75º, y 10º a 90º. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

Promedio	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Máxima	35 °C	36 °C	37 °C	36 °C	34 °C	34 °C	34 °C	34 °C	33 °C	32 °C	32 °C	34 °C
Temp.	29 °C	30 °C	31 °C	30 °C	29 °C	29 °C	29 °C	28 °C	28 °C	27 °C	27 °C	28 °C
Mínima	24 °C	24 °C	25 °C	25 °C	25 °C	24 °C	24 °C	24 °C	24 °C	23 °C	23 °C	23 °C

4.6 Localización geográfica del área de estudio.

La cuenca en estudio presentando una topografía plana, las cuales ocasionan bajas velocidades y acumulación de flujo y desbordamiento en las aguas de escorrentía superficial en la época de lluvia.

Figura 5. Localización general de las vías a intervenir en el municipio de Magangué

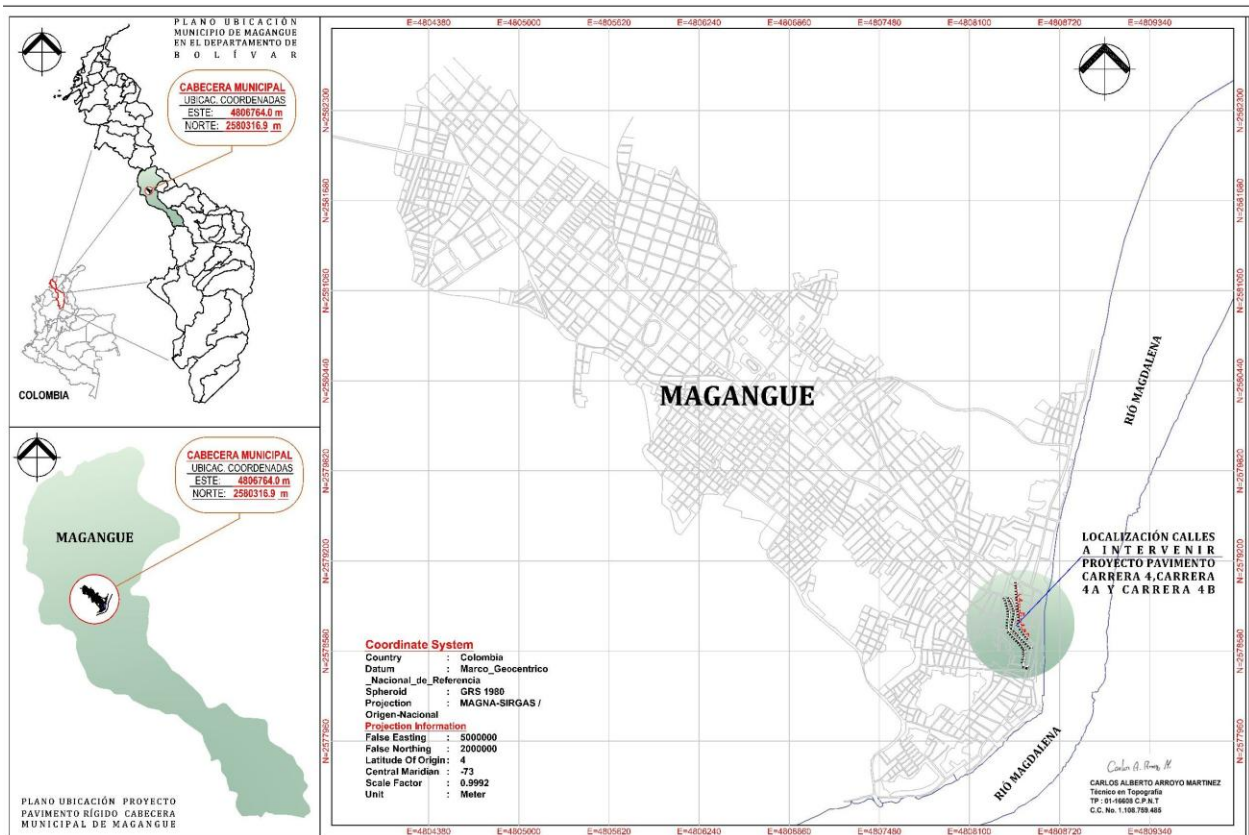
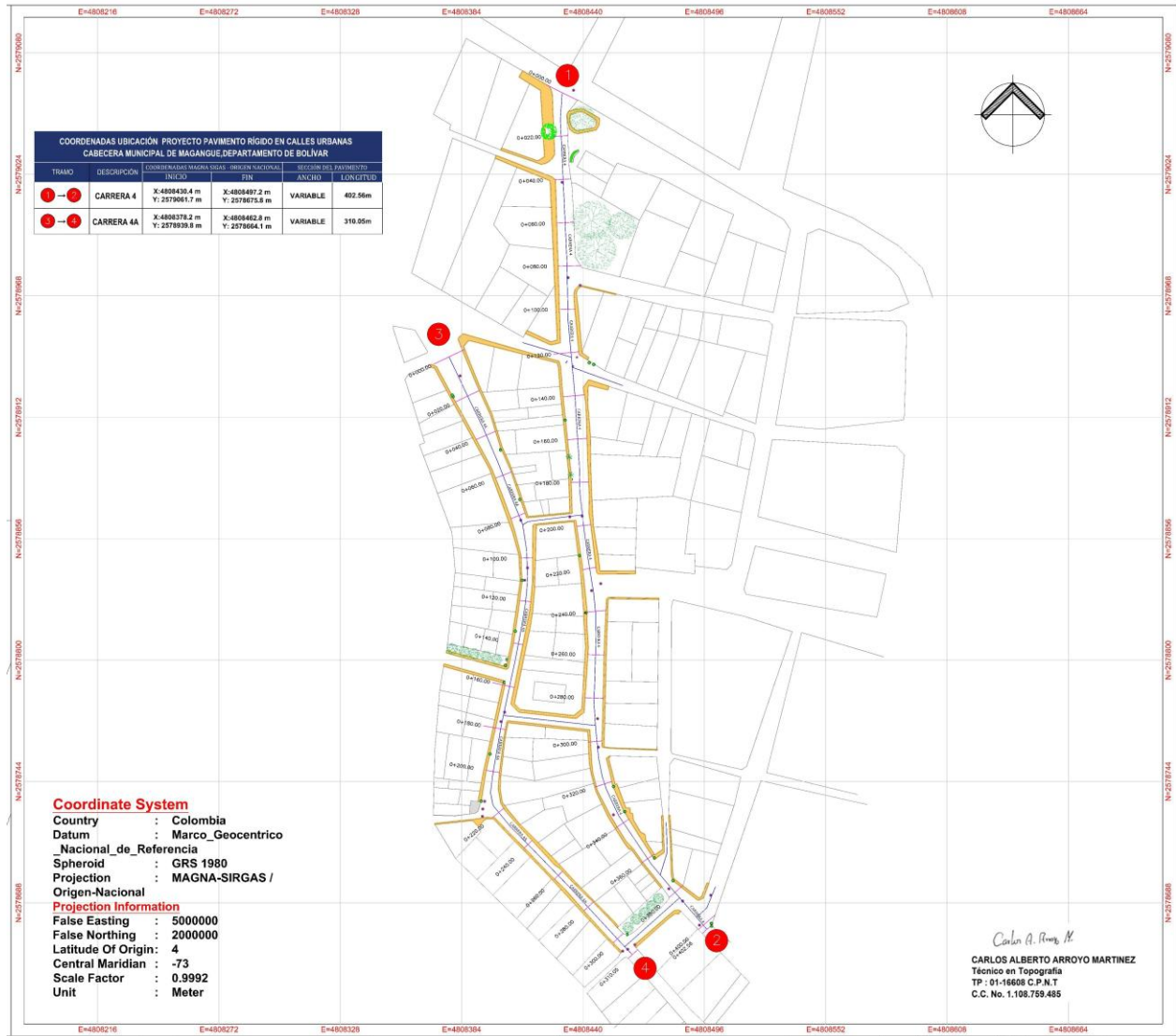


Figura 6. Localización de las vías Cra 4ª y Cra 4 a intervenir en el municipio de Magangué



5. MODELACION HIDROLOGICA DEL SECTOR EN ESTUDIO.

5.1 Tratamiento de la cuenca.

En esta fase del modelo se afronta la problemática de la influencia de las precipitaciones en el comportamiento hidrológico de la cuenca, estimando las precipitaciones que se presenten, combinando esta información con otras relacionadas con la duración de las tormentas y la distribución de las lluvias nos permite disponer de series de datos indispensables para la modelación de la precipitación.

5.2 Mediciones pluviométricas.

Para establecer un análisis detallado se selecciona la estación más cercana al área de estudio, la cual corresponde la Estación Pluviométrica con Código LA ESPERANZA [25021340] que hace parte de las estaciones meteorológicas del IDEAM, (Véase figura 7).

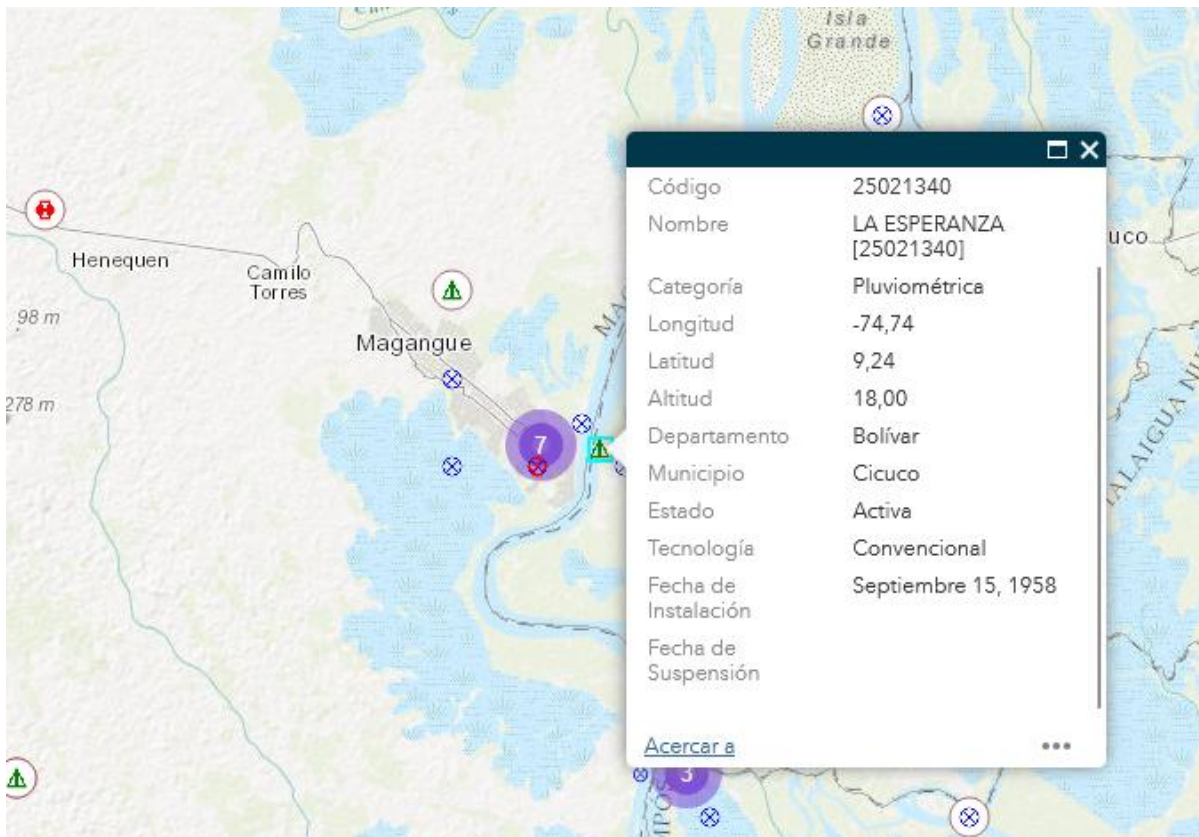


Figura 7. Estación Pluviométrica área de estudio.

5.3 Precipitaciones Máxima en 24 horas

Con el lenguaje de programación Python obtenemos las precipitaciones máximas en 24 hora la tabla y curvas de Intensidad Frecuencia Duración.

Tabla 5. Precipitación máxima 24 horas

AÑOS	VALOR_MAX
1998	92
1999	92
2000	103
2001	69
2002	92
2003	112
2004	70
2005	140
2006	117
2007	135
2008	90
2009	78
2010	120
2011	140
2012	80
2013	75
2014	150
2015	70
2016	110
2017	90
2018	120
2019	90
2020	110
2021	105
2022	120
2023	100
2024	90
2025	70
2026	65

5.4 Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia – IDF

Para realizar los análisis de la precipitación por el método racional se debe establecer la curva intensidad frecuencia duración para el municipio de Magangué a través del método recomendado por el ministerio de vía a través de la siguiente metodología:

Ecuación regionalizada, para la obtención de curvas IDF simplificadas:

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

Ec. (4)

i: Intensidad de precipitación, mm/h.

T: Periodo de retorno, en años.

M: Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual

t: Duración de la lluvia, minutos

a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión, regionalizados del Manual de Invías, para la región Caribe:

Tabla 6. Parámetros región Caribe

REGION CARIBE	
a=	24.85
b =	0.22
c =	0.5
d =	0.1

5.5 Procesamiento y análisis de la información

La información obtenida de la estación con código LA ESPERANZA [25021340] fue procesada y analizada con el lenguaje de programación Python para obtener la tabla y curvas de Intensidad Frecuencia Duración.

Tabla 4. Intensidad Frecuencia Duración

	TIEMPO_MIN	2_AÑOS	5_AÑOS	25_AÑOS	10_AÑOS	20_AÑOS	50_AÑOS	100_AÑOS
0	10	112.344981	137.435990	195.827589	160.076314	186.446259	228.086970	265.660555
1	15	91.729293	112.216016	159.892557	130.701763	152.232733	186.232231	216.910935
2	20	79.439898	97.181921	138.471016	113.191047	131.837414	161.281843	187.850380
3	30	64.862405	79.348706	113.061111	92.420103	107.644798	131.686074	153.379193
4	40	56.172490	68.717995	97.913795	80.038157	93.223130	114.043485	132.830277
5	50	50.242203	61.463243	87.576760	71.588304	83.381302	102.003594	118.807012
6	60	45.864646	56.108008	79.946278	65.350882	76.116367	93.116116	108.455467
7	70	42.462411	51.945922	74.015872	60.503160	70.470062	86.208771	100.410252
8	80	39.719949	48.590960	69.235508	56.595524	65.918707	80.640922	93.925190
9	90	37.448327	45.811997	65.275863	53.358771	62.148753	76.028990	88.553518
10	100	35.526602	43.461076	61.926121	50.620575	58.959484	72.127433	84.009244
11	110	33.873286	41.438510	59.044240	48.264825	56.215662	68.770809	80.099671
12	120	32.431202	39.674353	56.530556	46.210051	53.822399	65.843037	76.689596
13	130	31.158891	38.117885	54.312801	44.397181	51.710888	63.259944	73.680981
14	140	30.025459	36.731313	52.337125	42.782194	49.829859	60.958807	71.000770
15	150	29.007349	35.485820	50.562466	41.331527	48.140217	58.891802	68.593260
16	160	28.086245	34.358998	48.956897	40.019078	46.611565	57.021743	66.415139
17	170	27.247660	33.333124	47.495167	38.824209	45.219860	55.319216	64.432149
18	180	26.479966	32.393974	46.157005	37.730349	43.945805	53.760614	62.616793

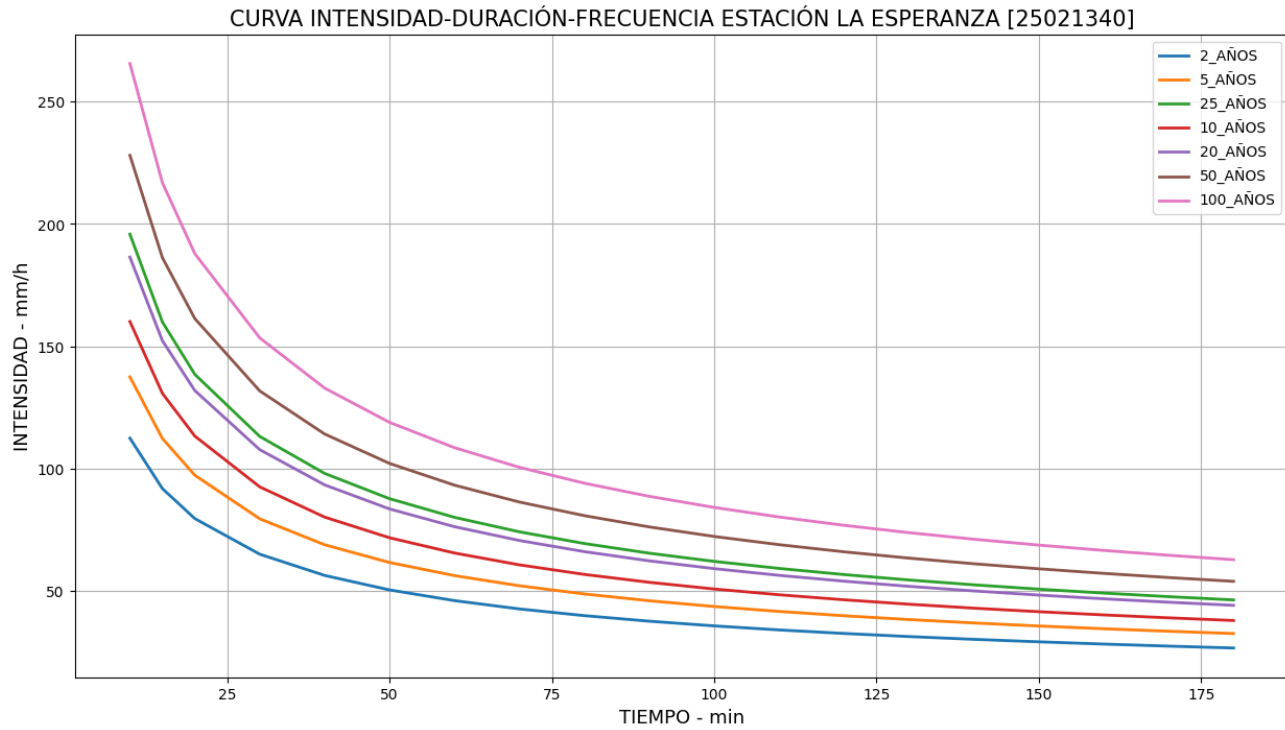


Figura 8. Curva Intensidad – Frecuencia- Duración

6.0 Cuenca hidrográfica

6.1 Áreas de Drenaje

Las áreas de drenaje fueron determinadas con el software ArcGIS, el cual permite hacer procesamiento digital de imágenes, con acceso a todo tipo de orígenes vector, Raster, Modelos Digitales de Terreno y Base de Datos Espaciales, genera superficies en cualquier parte de la tierra generando curvas de niveles, análisis de cuenca visual, generación de perfiles longitudinales, simulación de inundaciones, análisis de cuencas y red de drenaje, entre otras funciones.

Para el trazado de las líneas de escorrentía y sus áreas de drenaje se realizaron las siguientes actividades:

Se empelaron en primera instancia una imagen radar (DEM) SRTM de la NASA, con la ayuda del Software ArcGIS realizamos la delimitación de la subcuenca y red de drenaje de la zona aferente de la vía en estudio.

Figura 9: Modelo Digital de Elevación en ArcGIS Pro

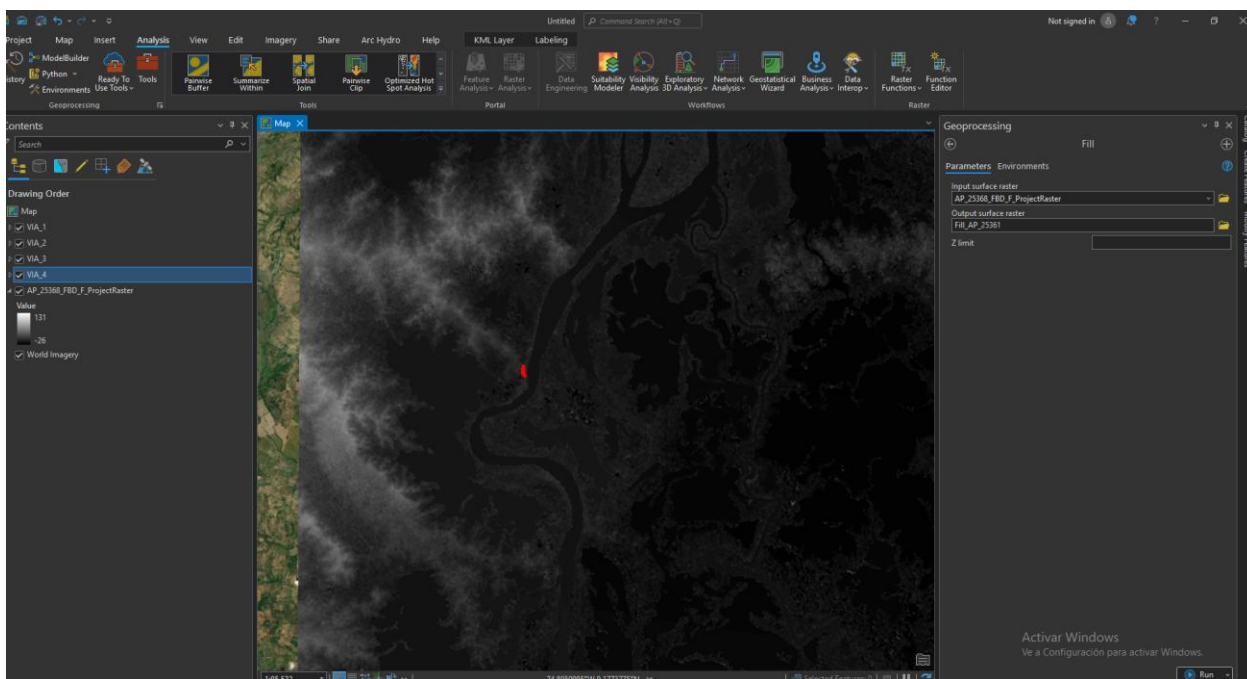


Figura 10: Delimitación de la Cuenca de la Zona en estudio

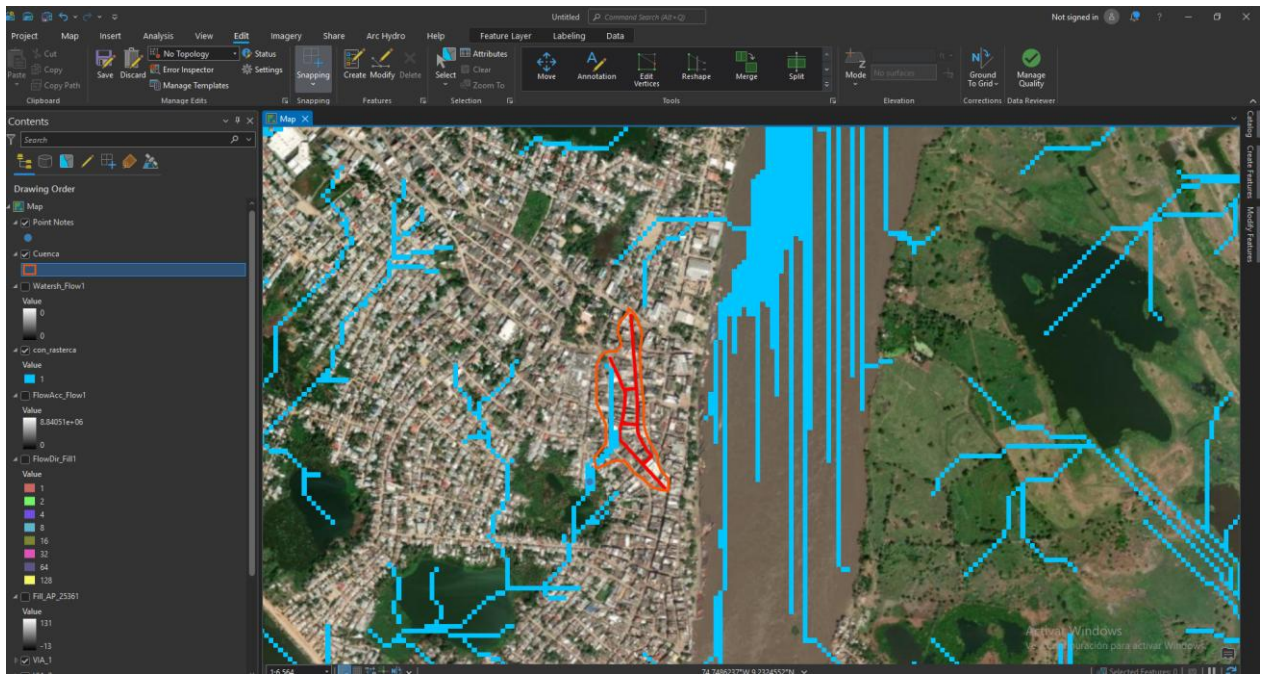


Tabla 1: Área de la cuenca

FID	Shape *	Id	Area_km2	Area_Ha
1	Polygon	Cuenca 1	0.033	3.3

6.2 Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda el agua en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el colector, es decir, es el tiempo requerido desde el comienzo de la lluvia para que toda el área este contribuyendo al colector en cuestión.

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el colector. El tiempo de entrada corresponde al tiempo requerido para que la escorrentía llegue al sumidero del colector, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje o tránsito del agua dentro del colector.

$$T_c = T_e + T_t$$

La norma RAS recomienda que el tiempo de concentración total o duración de la lluvia de diseño para tramos iniciales (arranques) sea superior a 10 minutos e inferior a 20.

T_c=20 minuto

6.3 Periodo de retorno de diseño

El periodo de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, tráfico vehicular, comercio, industria, etc. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado. En la tabla 6 se establecen valores de periodos de retorno o grado de protección.

TABLA 6
Periodos de retorno o grado de protección

Características del área de drenaje	Período de retorno (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
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

*Parte revestida a 10 años, más borde libre a 100 años

6.4 Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía tiene un significado similar al del coeficiente de retorno en el cálculo de alcantarillado sanitario. No toda el agua lluvia precipitada llega al sistema del alcantarillado, pues parte se pierde por factores tales como evaporización, intercepción vegetal, detención superficial en cunetas, zanjas o depresiones, y por infiltración. De todos los factores anteriores el de mayor importancia es la infiltración, el cual es función de la impermeabilidad del terreno, por lo que en algunos casos se le llama coeficiente de impermeabilidad.

TABLA 7
Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0,70-0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,60-0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente Separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,20-0,35

El valor del coeficiente C se estima tanto para la situación inicial como la futura al final del periodo de diseño, es así como se escogen los coeficientes de escorrentía para cada área aferente teniendo en cuenta las condiciones de tipo de superficie actual y futura.

Para seleccionar el coeficiente de escorrentía en el proyecto, tenemos que tener claro que la vía a intervenir pertenece a un sector urbano con ausencia en cobertura vegetal y más presencia con cobertura impermeable como es el concreto, para poder elegir el parámetro de escorrentía tenemos que tener en cuenta cada área aferente con sus condiciones de tipo de superficie actual y futura, por lo tanto, en el proyecto seleccionamos un coeficiente de escorrentía de $C=0.90$ de la tabla 7.

6.5 Intensidad de Precipitación de la cuenca

La **intensidad de precipitación** que debe usarse en la estimación del caudal pico de aguas lluvias, corresponde a la intensidad media de precipitación dada por la curva IDF para el periodo de retorno de diseño definido y una precipitación equivalente al tiempo de concentración de la escorrentía de la cuenca.

	TIEMPO_MIN	2_AÑOS	5_AÑOS	25_AÑOS	10_AÑOS	20_AÑOS	50_AÑOS	100_AÑOS
0	10	112.344981	137.435990	195.827589	160.076314	186.446259	228.086970	265.660555
1	15	91.729293	112.216016	159.892557	130.701763	152.232733	186.232231	216.910935
2	20	79.439898	97.181921	138.471016	113.191047	131.837414	161.281843	187.850380
3	30	64.862405	79.348706	113.061111	92.420103	107.644798	131.686074	153.379193
4	40	56.172490	68.717995	97.913795	80.038157	93.223130	114.043485	132.830277
5	50	50.242203	61.463243	87.576760	71.588304	83.381302	102.003594	118.807012
6	60	45.864646	56.108008	79.946278	65.350882	76.116367	93.116116	108.455467
7	70	42.462411	51.945922	74.015872	60.503160	70.470062	86.208771	100.410252
8	80	39.719949	48.590960	69.235508	56.595524	65.918707	80.640922	93.925190
9	90	37.448327	45.811997	65.275863	53.358771	62.148753	76.028990	88.553518
10	100	35.526602	43.461076	61.926121	50.620575	58.959484	72.127433	84.009244
11	110	33.873286	41.438510	59.044240	48.264825	56.215662	68.770809	80.099671
12	120	32.431202	39.674353	56.530556	46.210051	53.822399	65.843037	76.689596
13	130	31.158891	38.117885	54.312801	44.397181	51.710888	63.259944	73.680981
14	140	30.025459	36.731313	52.337125	42.782194	49.829859	60.958807	71.000770
15	150	29.007349	35.485820	50.562466	41.331527	48.140217	58.891802	68.593260
16	160	28.086245	34.358998	48.956897	40.019078	46.611565	57.021743	66.415139
17	170	27.247660	33.333124	47.495167	38.824209	45.219860	55.319216	64.432149
18	180	26.479966	32.393974	46.157005	37.730349	43.945805	53.760614	62.616793

Tabla 5. Intensidad Frecuencia Duración

6.6 Caudal de la cuenca

Según las recomendaciones del manual de drenaje Invias se utiliza el método racional para la determinación de los caudales de diseño cuando el área de la cuenca es menor que 2.50 km².

Este método establece que el caudal superficial producido por una precipitación es:

Fórmula

$$Q = CIA/360$$

Dónde: Q = Caudal en m³/s

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I = Intensidad de la lluvia en mm/hora

A = Es el área de escurrimiento en hectáreas

Tabla 9. Caudal de diseño método racional-, Tr = 50 Años

ESTRUCTURA N°.	ÁREA_DRENAJE	Tc	I50	C50	CAUDAL DISEÑO
	(Ha)	(min)	(mm/hr)		(m3/seg)
CUENCA	3.3	20	161.28	0.9	1.33

7. PARAMETROS DE DISEÑO HIDRAULICO:

7.1 Velocidad Mínima

La velocidad mínima necesaria para lavar los sólidos depositados en periodos de caudal bajo es de 0,75m/s

7.2 Velocidad Máxima

La velocidad máxima permitida para conductos construidos en concreto es de 5m/s, RESOLUCIÓN 0330 DE 2017 – REGLAMENTO TÉCNICO – RAS

TABLA 5
Velocidades máximas permisibles

Tipo de material	V (m/s)
Ladrillo común	3,0
Ladrillo vitrificado y gres	5,0
Concreto	5,0
PVC	10,0

7.3 Coeficiente de rugosidad

El material de construcción del canal es concreto áspero que tiene una rugosidad (n) de 0.013 RESOLUCIÓN 0330 DE 2017 – REGLAMENTO TÉCNICO – RAS

8.0 MODELACIÓN MATEMÁTICA - DISEÑO HIDRÁULICO BORDILLO

8.1 Dimensionamiento de los bordillos de la Vía.

Para el diseño del bordillo en la vía se modela el cauce con el programa **HEC RAS**, utiliza la fórmula de Manning, Teniendo en cuenta los parámetros de la vía en estudio, ya que los perfiles del bombeo de la vía se realizan en los dos sentidos Transversales a la vía (pendiente 2%). Para el drenaje de la vía se necesita establecer los bordillos y andenes que a la vez formen un sistema de canales. La utilización de herramientas de software **HEC-RAS** especializado permitirá determinar la alternativa óptima de diseño de la altura del bordillo.

Utilizaremos una altura de bordillo de un rango de 0.15 a 0.20m y un caudal máximo de $Q=0.4 \text{ m}^3/\text{seg}$ para simularla en el software **HEC-RAS** y seleccionar el adecuado.

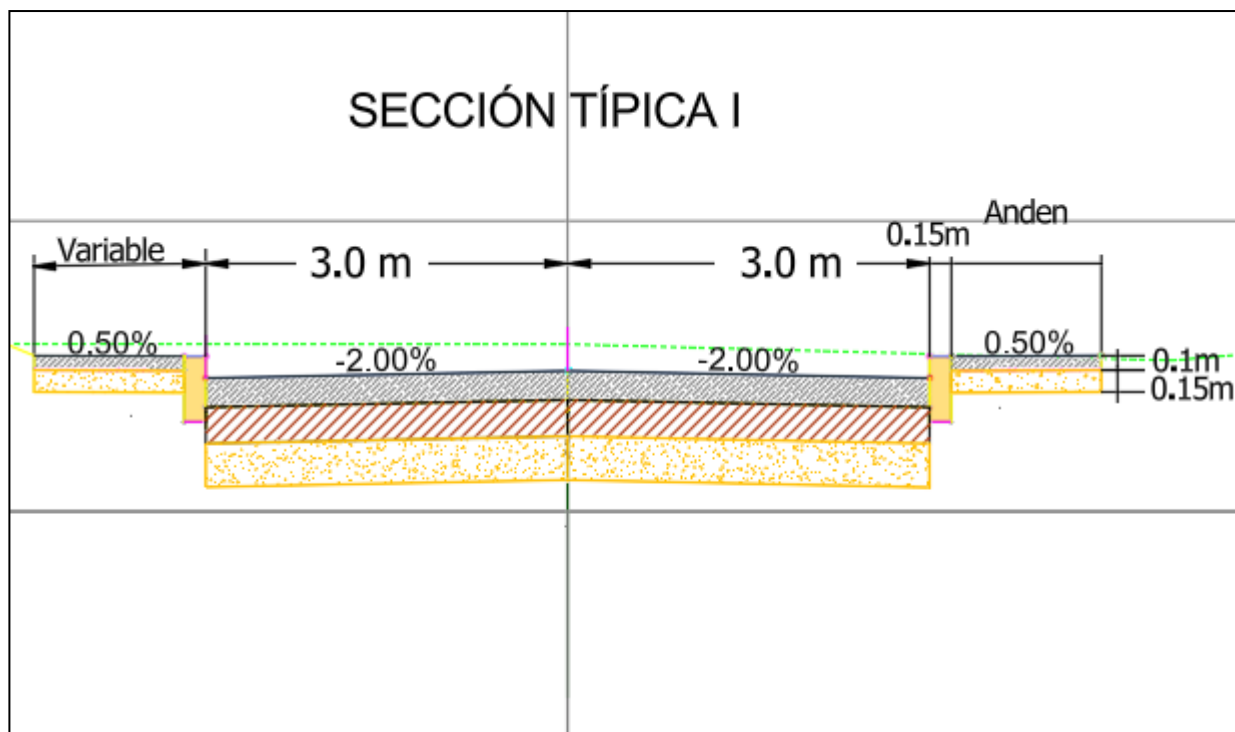


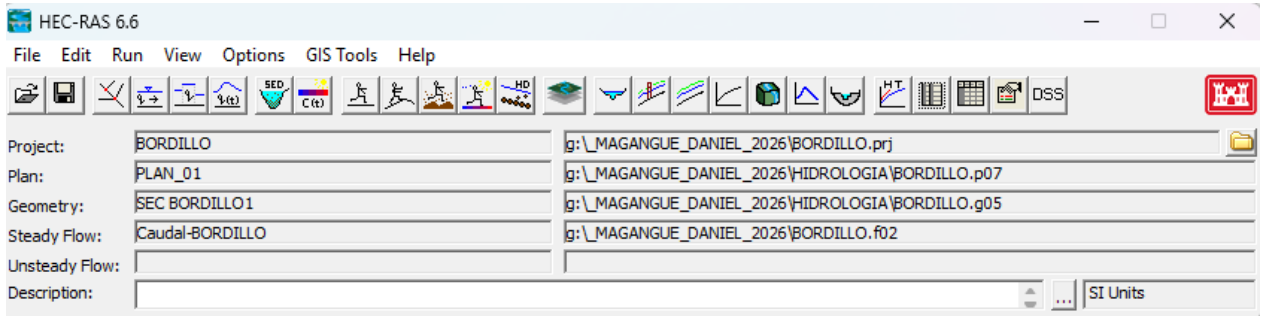
Figura 11. Sección Transversal de la vía

8.2 Metodología Empleada



Figura 12 Metodología para la Modelación Matemática

8.2.1 Presentación del Software HEC-RAS



8.2.2 Software HEC-RAS-Sección De La Vía – Bordillo (Bordillo H=0.20m)

Simulación con un bordillo de 0.20m de altura y un caudal $Q=1.33 \text{ m}^3/\text{seg}$

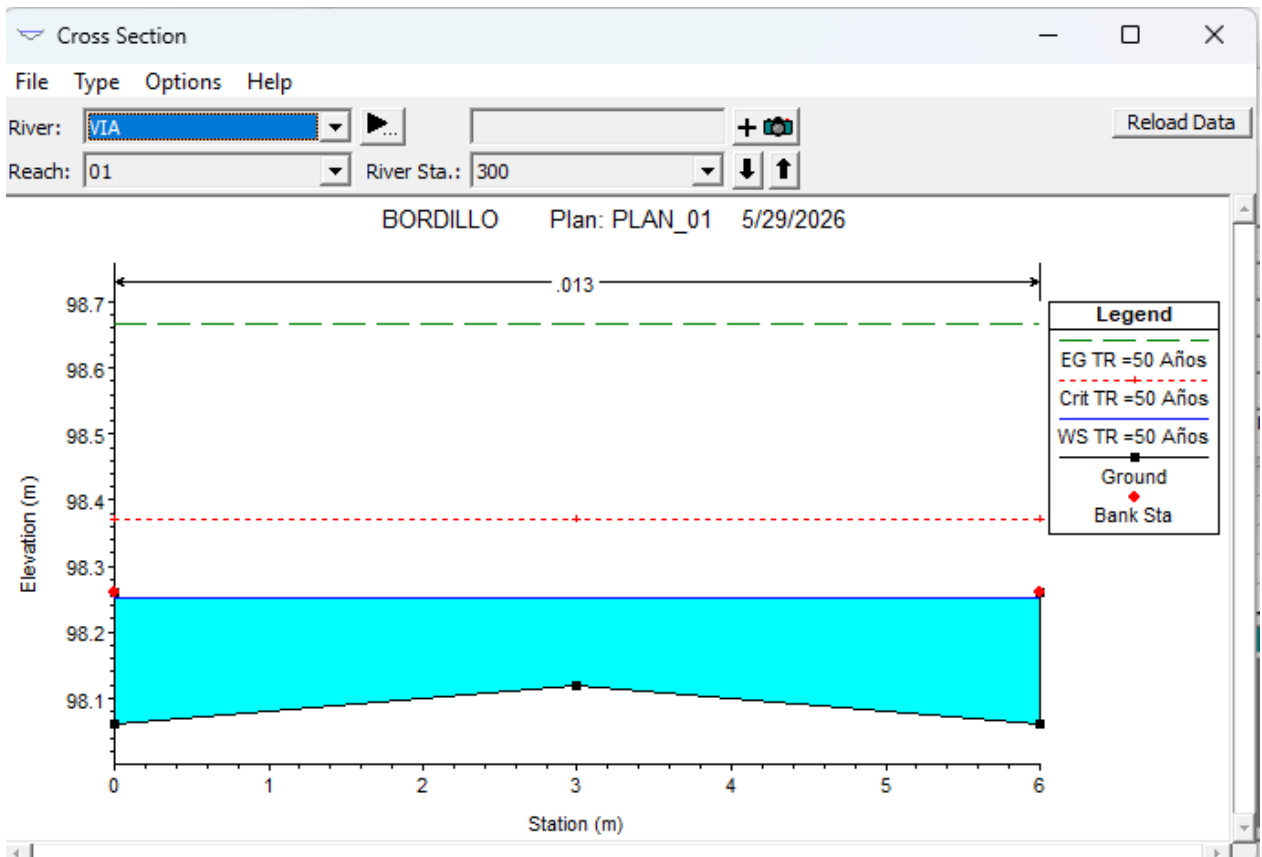


Figura 13. Sección Transversal de la vía con altura del agua

8.2.3 Software HEC-RAS-Perfil Longitudinal de la Vía-Bordillo

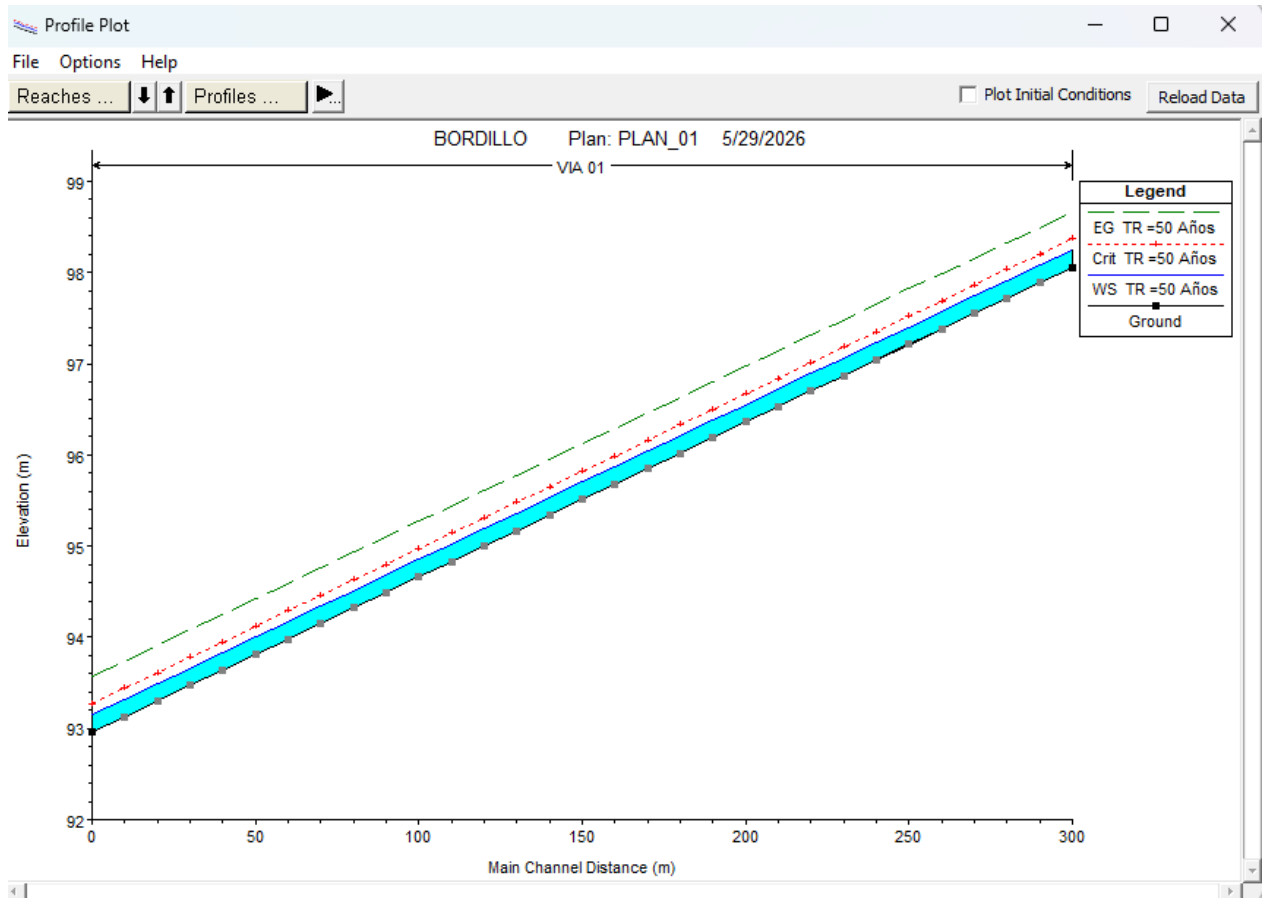


Figura 14. Perfil longitudinal de la vía con altura del agua

9.2.5 SOFTWARE HEC-RAS- TABLA DE ANALISIS

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	VIA	Profile:	TR =50 Años		
Reach	01	RS:	300	Plan:	1
Plan: 1 VIA 01 RS: 300 Profile: TR =50 Años					
E.G. Elev (m)		Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.42	Wt. n-Val.		0.013	
W.S. Elev (m)	98.25	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	98.37	Flow Area (m2)		0.97	
E.G. Slope (m/m)	0.017009	Area (m2)		0.97	
Q Total (m3/s)	2.77	Flow (m3/s)		2.77	
Top Width (m)	6.00	Top Width (m)		6.00	
Vel Total (m/s)	2.86	Avg. Vel. (m/s)		2.86	
Max Chl Dpth (m)	0.19	Hydr. Depth (m)		0.16	
Conv. Total (m3/s)	21.2	Conv. (m3/s)		21.2	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		6.38	
Min Ch El (m)	98.06	Shear (N/m2)		25.34	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		72.37	
Frctn Loss (m)	0.17	Cum Volume (1000 m3)		0.29	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		1.80	
Errors, Warnings and Notes					
Select Profile					

Al realizar la modelación de la vía principal se obtiene una altura máxima del flujo de 0.19m, por lo cual se establece una altura de bordillo y andén 0.20m.

CONCLUSION Y RECOMENDACIÓN.

- Como el municipio no cuenta con alcantarillado pluvial, la vía se comporta como un canal de drenaje de las aguas superficiales del sector, por lo tanto, es necesario el diseño hidráulico de la altura del bordillo para el manejo de las aguas a su cauce natural.
- Los proyectos de drenaje vial urbano suelen regirse por los lineamientos del Manual de Drenajes para Carreteras de INVIAS y el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2017 (Resolución 0330) ya que las instituciones o autoridades locales no cuentan con programas o parámetros técnicos para el diseño y manejos de las aguas superficiales en los proyectos de drenajes tanto urbano como rural.
- Promover el cuidado de las obras de drenaje, evitar que se produzcan represamientos limpiando todo tipo de restos que pueden interrumpir el paso del agua. Estas actividades son indispensables para el correcto desempeño del sistema.



ING. ROBERTO REINO VARGAS

MP: 03000-25930

ESP. VIAS Y TRANSPORTE

ESP. HIDROINFORMATICA

MAESTRANTE EN INGENIERIA

ENFASIS - HIDRAULICA