 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

**CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL
CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE**




CONTIENE:
ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y DE SOCAVACIÓN

SOLICITÓ:
ALCALDÍA MUNICIPIO DE HATO COROZAL

ELABORÓ:
MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA
INGENIERO GEÓLOGO

YOPAL, MARZO DE 2021

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	1 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice de Revisión	Fecha de Modificación	Observaciones
0	16/03/2021	Entrega inicial para revisión
1		
2		
3		
4		
5		

ELABORACIÓN Y REVISIÓN

TÍTULO DEL INFORME	ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y DE SOCAVACIÓN CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE
VERSIÓN INFORME	FINAL PARA APROBACIÓN
FECHA DE ELABORACIÓN	16 DE MARZO DE 2021
ELABORÓ	MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA
PROFESIÓN	INGENIERO GEÓLOGO
MATRÍCULA PROFESIONAL	15223099757 BYC
FIRMA	

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	2 de 70


 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN

2. GENERALIDADES

2.1 OBJETIVO GENERAL

2.2 LOCALIZACIÓN

2.3 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL SITIO DE ESTUDIO

2.3.1 Topografía

2.3.2 Geología Regional

2.3.2.1 Depósitos de Planicies Aluviales (Q1pal)

2.3.3 Geología Estructural Regional

2.3.3.1 Anticlinal de Corozal

2.3.3.2 Falla de Paz de Ariporo

2.3.3.3 Falla del Borde Llanero

2.3.4 Geomorfología Regional

2.3.4.1 Ambiente Fluvial

3. MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA

3.1.1 Área

3.1.2 Perímetro de la Cuenca

3.1.3 Longitud de la Corriente

3.1.4 Longitud Axial

3.1.5 Coeficiente de Compacidad

3.1.6 Factor de Forma

3.1.7 Sinuosidad

3.1.8 Pendiente Media del Cauce

3.1.9 Tiempo de Concentración Tc

3.2 CLIMATOLOGÍA

3.2.1. Precipitación Media

3.3 ANÁLISIS DE LLUVIAS

3.3.1 Análisis de Precipitación Media

3.3.2 Análisis de Precipitación Máxima

3.3.3 Distribución Log – Pearson Tipo III

3.3.4 Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia o Curvas I.D.F.

3.4 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN EFECTIVA

3.4.1 Estimación del Número de Curva de Escorrentía CN

3.4.2 Clasificación Hidrológica de los Suelos


3.4.3 Uso y Tratamiento del Suelo

3.4.4 Condición Hidrológica

3.4.5 Condición de Humedad Antecedente

3.5 ANÁLISIS DE CAUDALES Y SEDIMENTOS

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	3 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

- 3.5.1 Análisis de Caudales Mínimos
- 3.5.2 Análisis de Caudales Medios
- 3.5.3 Análisis de Caudales Máximos
- 3.5.4 Análisis de Crecientes
- 3.5.5 Análisis de Sedimentos

4. HIDRÁULICA DE RÍOS

4.1 GEOMORFOLOGÍA

- 4.1.1 Afloramiento de Roca
- 4.1.2 Tectónica
- 4.1.3 Producción de Sedimentos
- 4.1.4 Erodabilidad de los Materiales
- 4.2 DINÁMICA E HIDRÁULICA FLUVIAL
- 4.2.1 Efectos de la Intervención Antrópica
- 4.2.1.1 Construcción de Puentes
- 4.2.1.2 Efectos de la Reconstrucción de una Corriente
- 4.2.1.3 Profundización del Cauce
- 4.2.1.4 Inestabilidad Lateral

4.3 PARÁMETROS HIDRÁULICOS FUNDAMENTALES

- 4.3.1 Número de Reynolds
- 4.3.2 Número de Froude
- 4.3.3 Ecuación Fundamental del Flujo
- 4.3.3.1 Ecuación Manning
- 4.3.3.2 Determinación del Coeficiente de Rugosidad de Manning
- 4.4 PARÁMETROS HIDRÁULICOS INDICATIVOS DE ESTABILIDAD
- 4.4.1 Fuerza Tractiva τ_o
- 4.4.2 Resistencia del Suelo a la Fuerza Tractiva τ_c
- 4.4.3 Velocidad Crítica v_c
- 4.5 MODELO DE CÁLCULO HIDRÁULICO

5. ANALISIS DE LA SOCAVACION


- 5.1 FUNDAMENTOS DE LA SOCAVACIÓN
- 5.2 SOCAVACION GENERAL
- 5.2.1 Cálculo de la Socavación General por Contracción
- 5.2.2 Socavación Local en Estribos

6. MEMORIA DE CÁLCULO

- 6.1 EVALUACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO
- 6.2 EVALUACION DE SOCAVACIÓN
- 6.3 RESULTADOS MODELACIÓN HIDRÁULICA BOX CULVERT

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	4 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

BIBLIOGRAFÍA

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1. Características Morfométricas Cuenca Caño La Toma Sitio de Estudio
 Tabla No. 2. Estación Hidrometeorológica en el Área de Influencia Sitio de Estudio
 Tabla No. 3. Meses con Menores y Mayores Valores de Precipitación Media en el Sitio de Estudio
 Tabla No. 4. Distribución Log – Pearson Tipo III Estación Santa Inés
 Tabla No. 5. Precipitación Máxima en 24 Horas para el Periodo de Retorno
 Tabla No. 6. Intensidad – Duración – Frecuencia Sitio de Ponteadero
 Tabla No. 7. Precipitación Acumulada para Tres Niveles de Condición de Humedad Antecedente
 Tabla No. 8. Número de Curva de Escorrentía CN
 Tabla No. 9. Número de Curva de Escorrentía CN y Retención Potencial Máxima S
 Tabla No. 10. Hietograma de Precipitación Caño La Toma, Tr = 25 Años
 Tabla No. 11. Periodos de Retorno de Diseño en Obras de Drenaje Vial
 Tabla No. 12. Caudal Creciente con Periodo de Retorno de 25 Años
 Tabla No. 13. Caudal de Diseño Modelo Hidrológico HEC – HMS 4.3
 Tabla No. 14. Metodología para Calcular el Coeficiente de Rugosidad de Manning
 Tabla No. 15. Parámetros Hidráulicos Sección Transversal 0 + 008, Aguas Arriba
 Tabla No. 16. Parámetros Hidráulicos Sección Transversal 0 + 009, BR U Aguas Arriba
 Tabla No. 17. Parámetros Hidráulicos Sección Transversal 0 + 009, BR D Aguas Abajo
 Tabla No. 18. Parámetros Hidráulicos Sección Transversal 0 + 010, Aguas Abajo
 Tabla No. 19. Análisis Socavación Periodo de Retorno Tr = 25 Años

LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1. Localización General del Área de Estudio
 Figura No. 2. Mapa Geológico Regional
 Figura No. 3. Mapa Geomorfológico Regional
 Figura No. 4. Modelo Digital de Elevación Cuenca Caño La Toma
 Figura No. 5. Distribución Lluvias en el Municipio de Hato Corozal y Área de Estudio
 Figura No. 6. Ubicación Estación Santa Inés
 Figura No. 7. Valores Totales Mensuales de Precipitación Estación Santa Inés
 Figura No. 8. Valores Máximos Mensuales de Precipitación en 24 Horas Estación Santa Inés
 Figura No. 9. Regiones en Colombia para Definición de los Parámetros a, b, c, y d
 Figura No. 10. Curvas I. D. F. Área de Influencia Sitio de Ponteadero
 Figura No. 11. Cobertura Vegetal Zona de Estudio

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	5 de 70



 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 12. Hietograma de Precipitación Tormenta SCS Tipo III, Tr = 25 Años
 Figura No. 13. Modelo Hidrológico Caño La Toma
 Figura No. 14. Hidrograma para la Creciente con Periodo de Retorno de 25 Años
 Figura No. 15. Socavación General – Definición de Variables
 Figura No. 16. Modelo Hidráulico Box Culvert Caño La Toma
 Figura No. 17. Modelo Hidráulico Sección Transversal 0 + 008, Aguas Arriba
 Figura No. 18. Modelo Hidráulico Sección Transversal 0 + 009 BR U, Aguas Arriba
 Figura No. 19. Modelo Hidráulico Sección Transversal 0 + 009 BR D, Aguas Abajo
 Figura No. 20. Modelo Hidráulico Sección Transversal 0 + 010, Aguas Abajo
 Figura No. 21. Perfil Longitudinal del Flujo
 Figura No. 22. Perfil de Velocidades
 Figura No. 23. Resultados Cálculo Socavación Periodo de Retorno Tr = 25 Años
 Figura No. 24. Ubicación Box Culvert Sección Transversal 0 + 010 del Levantamiento Topográfico

LISTA DE ANEXOS

Anexo No. 1. Cuenca del Caño La Toma
 Anexo No. 2. Parámetros Hidrometeorológicos
 Anexo No. 3. Hietogramas de Precipitación
 Anexo No. 4. Modelación Hidrológica Software HEC – HMS 4.3
 Anexo No. 5. Modelo Hidráulico Software HEC – RAS 5.0.7

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	6 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

1. INTRODUCCIÓN


Para anticipar el conocimiento del comportamiento de la corriente de agua, se hace necesario determinar las características morfológicas de la corriente, su geología, sedimentos, hidrología e hidráulica y posibles alteraciones de origen natural o antrópico. La socavación comprende el levantamiento y transporte de los materiales del lecho de la corriente de agua en el momento de una avenida o creciente, o por la construcción de una obra dentro del cauce. Debe diferenciarse la socavación de la erosión no recuperable en el sentido que después de que pase la avenida o se elimine la causa de la socavación en procesos posteriores, comúnmente se vuelven a depositar sedimentos en un proceso cíclico, y se puede recuperar el nivel del fondo del cauce. La socavación está controlada por las características hidráulicas del cauce, las propiedades de los sedimentos del fondo y la forma y localización de los elementos que la inducen.

El informe contiene los resultados del estudio hidrológico, hidráulico y de socavación para la Construcción Box Culvert en la Carrera 1 con Diagonal 12 sobre el Caño La Toma Municipio de Hato Corozal, Casanare.

La metodología del estudio es la siguiente:

1. Recopilación y Análisis de la Información: consiste en el aprovisionamiento de toda la información disponible sobre el tema o informes relacionados efectuados en el área de estudio.
2. Levantamiento topográfico del sitio de ponteadero para establecer el perfil del cauce.
3. Características Morfológicas: en este capítulo se presentan las características morfológicas de la corriente de agua como son: área, perímetro, longitud del canal, pendiente, densidad de drenaje, sección transversal y la forma en planta para conocer la dinámica de la corriente y establecer el tiempo de concentración.
4. Hidrología: consiste en la recopilación y análisis de datos hidrometeorológicos de la zona de estudio para determinar las condiciones de precipitación, análisis de precipitación máxima en 24 horas, se realiza la distribución de la lluvia mediante análisis estadístico, se determinan las Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (I.D.F.) para las estaciones más cercanas al área, luego se elabora el análisis de precipitación efectiva y por último se realiza el análisis de crecientes para los periodos de retorno establecidos.
5. Hidráulica y Socavación: a partir del estudio hidrológico se calcula la socavación que se producirá y se definen las cotas de cimentación para los estribos del puente vehicular, N.A.M.E., gálibo y obras para el control y/o protección de la cimentación.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	7 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

2. GENERALIDADES

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio hidrológico, hidráulico y de socavación para la construcción de un box culvert sobre el Caño La Toma en la Carrera 1 con Diagonal 12 del Municipio de Hato Corozal, determinando el efecto combinado de socavación general y local para establecer las cotas de desplante o cimentación del box culvert y adecuación de las estructuras.

El estudio hidráulico evaluará datos hidrometeorológicos necesarios para la obtención de caudales y precipitaciones diarias, mensuales y anuales según corresponda, con el fin de realizar un análisis detallado de la socavación que es un requisito necesario para la ubicación y el diseño de la estructura de cimentación.

2.2 LOCALIZACIÓN

El área del proyecto para el diseño del box culvert sobre el Caño La Toma, se encuentra localizada en el área urbana del Municipio de Hato Corozal en la Carrera 1 con Diagonal 12. El sitio de ponteadero está definido por las siguientes coordenadas con origen Magna Sirgas – Este.

06° 09' 23.51" N

71° 45' 20.14" W

La Figura No. 1, muestra esquemáticamente la localización general del área de estudio.

2.3 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL SITIO DE ESTUDIO

A continuación, se presenta la metodología de análisis seguida para elaborar la caracterización geológica del área donde se construirá el box culvert proyectado.

2.3.1 Topografía

Durante la realización de los diseños se efectuaron diferentes levantamientos topográficos tendientes a cumplir con los objetivos planteados. Los trabajos iniciales se encaminaron a realizar una materialización de las áreas disponibles para construcción.

Una vez delimitadas el área de construcción y estando la misma ajustada por las limitaciones geológicas y geotécnicas, se procedió a su calibración final y elaboración de perfiles o secciones transversales.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	8 de 70


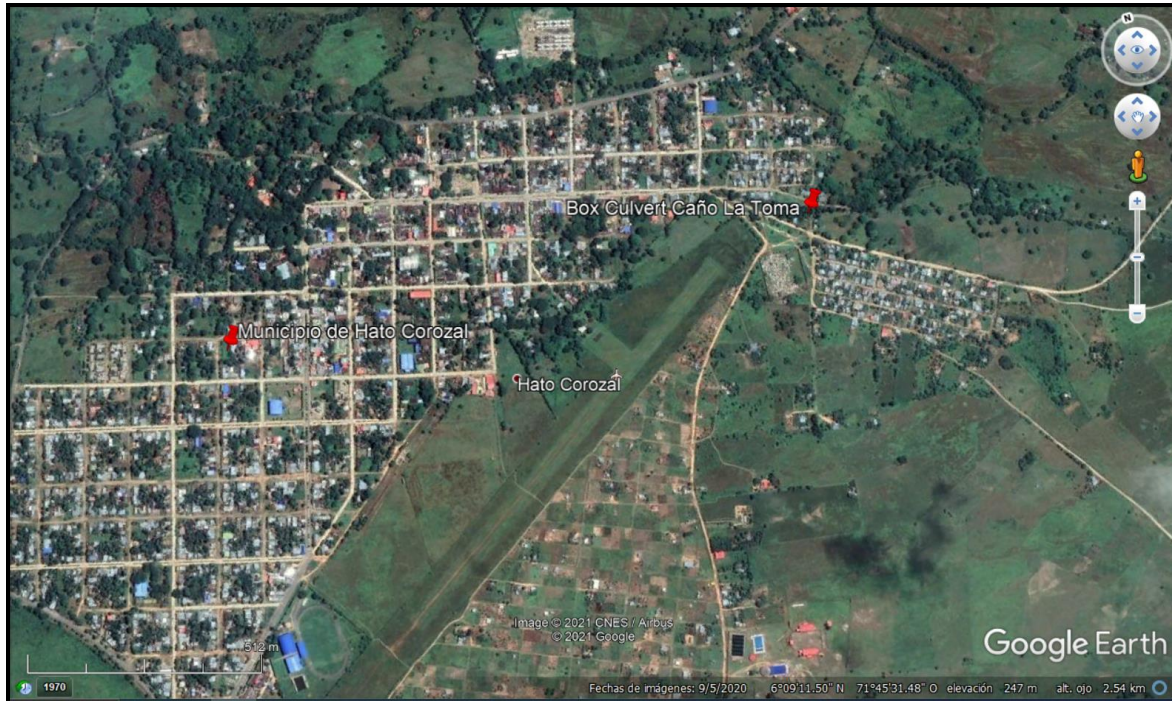
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 1. Localización General del Área de Estudio



FUENTE: GOOGLE EARTH

2.3.2 Geología Regional

Se realizó un reconocimiento geológico general de la zona, en la que se encuentran aflorando Depósitos Cuaternarios, estos depósitos son de edad reciente debido a que el Municipio de Hato Corozal está ubicado en una zona de depresión o de bajos, en la cual se depositaron todos los sedimentos provenientes de la Cordillera Oriental.


Los rasgos más importantes sobre las características geológicas regionales y locales de influencia en el área del proyecto se resumen los siguientes aspectos:

Regionalmente el área de influencia del sitio de construcción, afloran depósitos de edad cuaternaria pertenecientes a Depósitos de Planicies Aluviales (Q1pal).

2.3.2.1 Depósitos de Planicies Aluviales (Q1pal)

Se localizan en la parte oriental de la Plancha 154 – Hato Corozal y corresponden a materiales que son transportados por los drenajes que corren de Oeste a Este en esta zona del país. Morfológicamente se asocian a zonas planas a semiplanas, inundables,

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	9 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

cubiertas por vegetación baja, generalmente usadas para la ganadería. Se encuentran cubiertos y cortados por depósitos aluviales de los ríos actuales.

Los sedimentos que conforman estos depósitos son principalmente materiales retrabajados de las rocas que se encuentran al Oeste de la Falla Borde Llanero. Los materiales no litificados y de composición variable, se componen de arenas finas cuarzosas (0,15 - 0,2 mm), líticas (<5%) con bajo contenido de arcillas y limos (<0,1 mm). Presentan coloraciones rojizas. En algunas zonas se encuentran materiales arcillosos en superficie y a medida que se profundiza el contenido de arena cuarzosa aumenta.

2.3.3 Geología Estructural Regional

A la geología estructural corresponde el estudio de los movimientos compresionales y tensionales, causados por fuerzas de origen tectónico, que a su vez originaron plegamientos, hundimientos, desplazamientos y fallamientos inversos de las estructuras geológicas. Entre ellos se destacan los anticlinales o pliegue convexo de estratos levantados, y sinclinales o partes cóncavas de un pliegue, así como los movimientos tectónicos asociados a fallamientos.

En el área de estudio, la actividad tectónica es baja, encontrándose Anticlinal de Corozal, Falla de Paz de Ariporo y Falla del Borde Llanero que separa los depósitos cuaternarios.

2.3.3.1 Anticlinal de Corozal

El anticlinal presenta una dirección general N5°E, sus flancos son simétricos, inclinados entre 10° a 20°, extendiéndose más de 40 km; está limitado al occidente por la Falla de Paz de Ariporo y al oriente por la Falla del Borde Llanero. En diferentes zonas, se encuentra cubierto por depósitos aluviales recientes y antiguos.

El anticlinal se prolonga hacia el sur donde se trunca finalmente con la Falla del Borde Llanero.


2.3.3.2 Falla de Paz de Ariporo

Presenta una dirección general N5°E inclinada hacia el noroeste y afecta las secuencias de la Formación Caja en la zona al occidente de la Falla del Borde Llanero. Su longitud aproximada parece ser mayor a 40 km, debido a que se prolonga al norte hacia el Municipio de Tame y al sur hacia el Municipio de Paz de Ariporo.

2.3.3.3 Falla del Borde Llanero

Se presenta hacia el Este del área, cerca de la cabecera Municipal de Hato Corozal, se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios de llanuras aluviales y aluviales recientes de los ríos cercanos. Además, teniendo en cuenta la línea sísmica AU8614 y el cambio

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	10 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

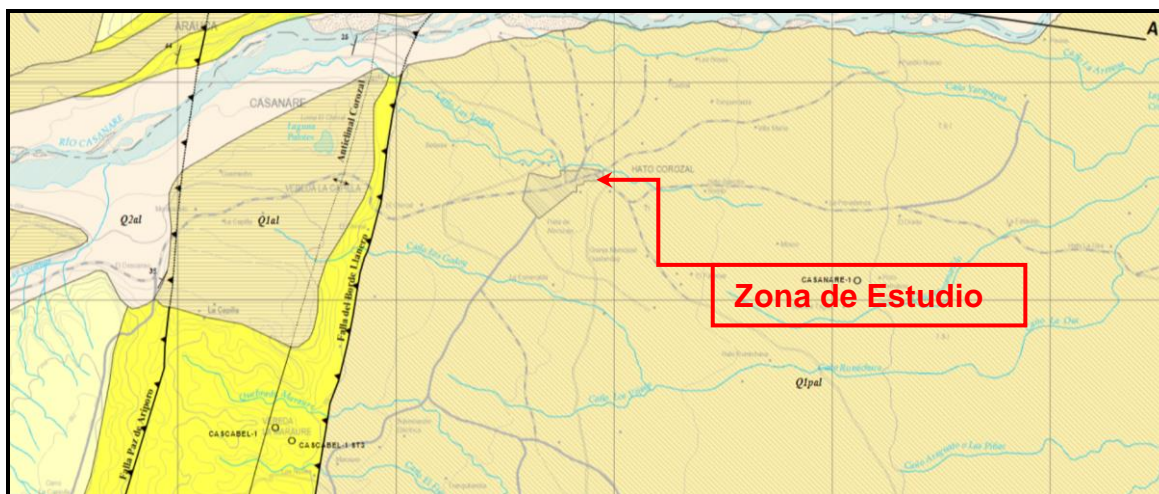
morfológico entre los abanicos aluviales y la zona plana de los Llanos Orientales se efectuó su trazo.

Fotogeológicamente, entre las localidades de Hato Corozal y Tame, se observan plegamientos y basculamiento de los depósitos cuaternarios por la propagación de ésta, a lo largo de su longitud posiblemente se trata de una falla ciega que ha producido un escarpe de flexura en superficie. Esta falla pone en contacto unidades del Mioceno – Pleistoceno con las unidades cuaternarias.

Reyes & Cardozo (2000), la denominan como Sistema de Fallas del Borde Llanero, constituida por varias fallas subparalelas con una extensión de centenares de kilómetros en dirección NE – SW y posiblemente al norte se une con la Falla de Boconó, a través del sistema de Chucarima – Chitagá. Regionalmente, los planos de falla buzan hacia el oeste con ángulos bajos, con el bloque occidental levantado; presenta movimiento inverso con una componente de rumbo dextral y una extensión superior a los 200 km.

En la Figura No. 2 se observa el Mapa Geológico Regional de la Zona de Estudio.

Figura No. 2. Mapa Geológico Regional




FUENTE: MAPA GEOLÓGICO DE LA PLANCHA 154 – HATO COROZAL. CONSORCIO GSG (GEOMINAS – SERVIMINAS – GEMI) 2015

2.3.4 Geomorfología Regional

La forma de la superficie terrestre la determinan los procesos morfodinámicos que actúan sobre las rocas y suelos preexistentes. El conocimiento y ubicación de estos procesos es importante, por cuanto permite planificar el tratamiento y uso adecuado de los suelos.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	11 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

La geoforma donde se localiza el sitio de estudio corresponde a Ambiente Fluvial y subunidad geomorfológica a Abanico Aluvial Subreciente.

2.3.4.1 Ambiente Fluvial

Geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre.

La Subunidad Geomorfológica Abanico Aluvial Subreciente corresponde a superficie en forma de cono, de laderas cóncavas o convexas, de morfología plana, aterrizada, por la acumulación torrencial y fluvial en forma radial donde la corriente desemboca en una zona plana. Se localiza al centro y este de la plancha, sobre depósitos aluviales de los ríos Casanare, Tocaragua, San Lope, Purare, Chire, Caño Puna Puna, Brazo Casanarito y el Hato Rumichaca.


En la Figura No. 3 se observa el Mapa Geomorfológico Regional.

Figura No. 3. Mapa Geomorfológico Regional



FUENTE: MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA PLANCHA 154 – HATO COROZAL. SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO 2015

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	12 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

3. MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

En este capítulo se presenta la información hidrológica básica para la elaboración de los estudios hidráulicos y de socavación los cuales son fundamentales para el diseño del box culvert, puesto que estos estudios determinan el nivel de aguas máximo y la socavación esperada para el periodo de retorno de diseño, con lo cual se define la sección hidráulica libre y la profundidad óptima para la estructura de cimentación del box culvert proyectado.

3.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA

A continuación, se relacionan los parámetros morfométricos evaluados para la cuenca del Caño La Toma hasta el sitio de estudio.

3.1.1 Área

Es considerado como el principal parámetro morfométrico en hidrología. El área de drenaje está limitada por la divisoria de aguas la cual se dibujó con la ayuda del software Global Mapper v20.0 como se puede observar en la Figura No. 4, a partir del cual se generó el Modelo Digital de Elevación para definir la cuenca de drenaje del Caño La Toma, como resultado final se determinó el área de la cuenca siendo de 3,08 km².

En el Anexo No. 1 se presenta con mayor detalle la Cuenca del Caño La Toma hasta el sitio de ponteadero, generada por medio del Software Global Mapper v20.0.

3.1.2 Perímetro de la Cuenca

Este parámetro se mide directamente sobre el plano topográfico generado por medio del Programa Global Mapper v20.0 siendo de 10,02 km.

3.1.3 Longitud de la Corriente

Es la distancia entre el nacimiento de la corriente hasta el sitio de estudio, siguiendo el curso de la corriente principal. Este parámetro se mide directamente del plano topográfico generado por medio del Programa Global Mapper v20.0 siendo de 5,19 km.

3.1.4 Longitud Axial

Es la distancia entre el nacimiento de la corriente hasta el sitio de estudio, medida paralela al cauce principal. Esta longitud se mide directamente del plano topográfico generado por medio del Programa Global Mapper v20.0 siendo de 4,84 km.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	13 de 70


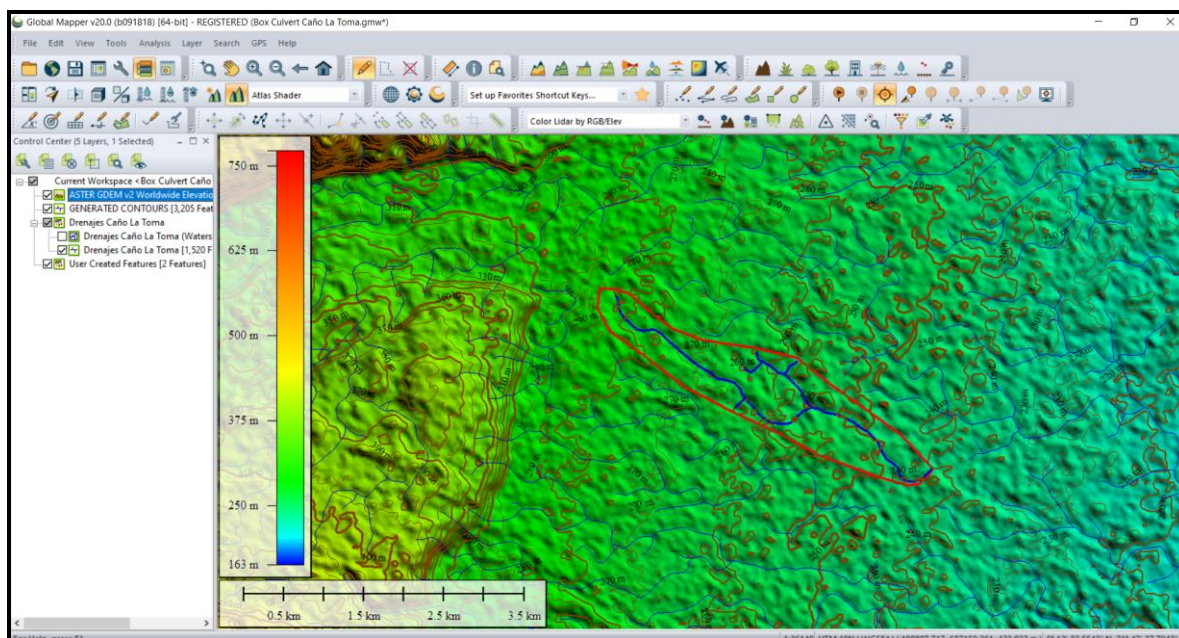
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 4. Modelo Digital de Elevación Cuenca Caño La Toma



FUENTE: SOFTWARE GLOBAL MAPPER v20.0

3.1.5 Coeficiente de Compacidad

Se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dónde:

P = Perímetro de la subcuenca


A = Área de la subcuenca

3.1.6 Factor de Forma

Es la relación entre el área y la longitud axial de la cuenca elevada al cuadrado.

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	14 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Dónde:

A = Área de la subcuenca
L = Longitud axial

3.1.7 Sinuosidad

Grado de curvatura del plano de un curso fluvial, se calcula con la siguiente expresión:

$$S = \frac{L}{L_t}$$

Dónde:

L_t = Longitud de la corriente
L = Longitud axial

3.1.8 Pendiente Media del Cauce

Se calcula a partir de la diferencia entre la cota de nacimiento y la desembocadura de la corriente, sobre la longitud del cauce y se expresa en porcentaje.

$$P_m = \frac{H_a - H_b}{D}$$

Dónde:

H_a = Altura del nacimiento de la corriente
H_b = Altura de la desembocadura de la corriente
D = Distancia planimétrica entre H_a y H_b
P_m = S = Pendiente media del cauce (m/m)


3.1.9 Tiempo de Concentración T_c

Es el tiempo requerido para el viaje del agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio objeto del diseño o de interés.

Este parámetro se calcula por medio de la fórmula de Kirpich así (Manual de Drenaje para Carreteras, Invías 2009):

$$T_c = 0,06628 * \left(\frac{L}{S^{0,50}} \right)^{0,77}$$

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	15 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Dónde:

Tc = Tiempo de concentración

L = Longitud total de la cuenca

S = Pendiente media de la cuenca

En la Tabla No. 1 se presenta un resumen de las características morfométricas de la Cuenca del Caño La Toma, hasta el sitio de construcción del box culvert en la Carrera 1 con Diagonal 12 del Municipio de Hato Corozal.

Tabla No. 1. Características Morfométricas Cuenca Caño La Toma Sitio de Estudio

Cuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud de la Corriente (km)	Longitud Axial (km)	Coefficiente de Compacidad Kc	Factor de Forma (Kf)	Densidad de Drenaje	Sinuosidad	Pendiente Media del Cauce (m/m)	Tiempo de Concentración Tc (h)
Caño La Toma	3,08	10,02	5,19	4,84	1,60	0,13	1,69	0,93	0,0251	0,97

FUENTE: RESULTADOS DEL ESTUDIO

3.2 CLIMATOLOGÍA

Se presenta aquí la caracterización de los elementos más representativos que definen el clima de la zona como es la precipitación, ya que ella define la erosión en corrientes de agua, caudales, sedimentos y es la más importante para la determinación de la socavación.

3.2.1. Precipitación Media

La precipitación normal de una región está determinada por su situación geográfica y por la presencia de algunos factores tal como la circulación del aire, el relieve, la distancia al mar y la influencia de zonas selváticas o boscosas.

La posición geográfica del país en la zona ecuatorial la sitúa bajo la influencia de los alisios del noreste y del sureste, que son corrientes de aires cálidos y húmedos que provienen de latitudes subtropicales de los dos hemisferios que confluyen en una franja denominada Zona de Confluencia Intertropical, pasando por el territorio colombiano dos veces al año. En la zona de estudio las lluvias son abundantes y sus valores anuales oscilan desde los 2.000 mm hasta los 2.500 mm, aumentando la intensidad en el sentido noreste a sureste. En la Figura No. 5 se presenta la distribución de la lluvia en el Municipio de Hato Corozal.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	16 de 70


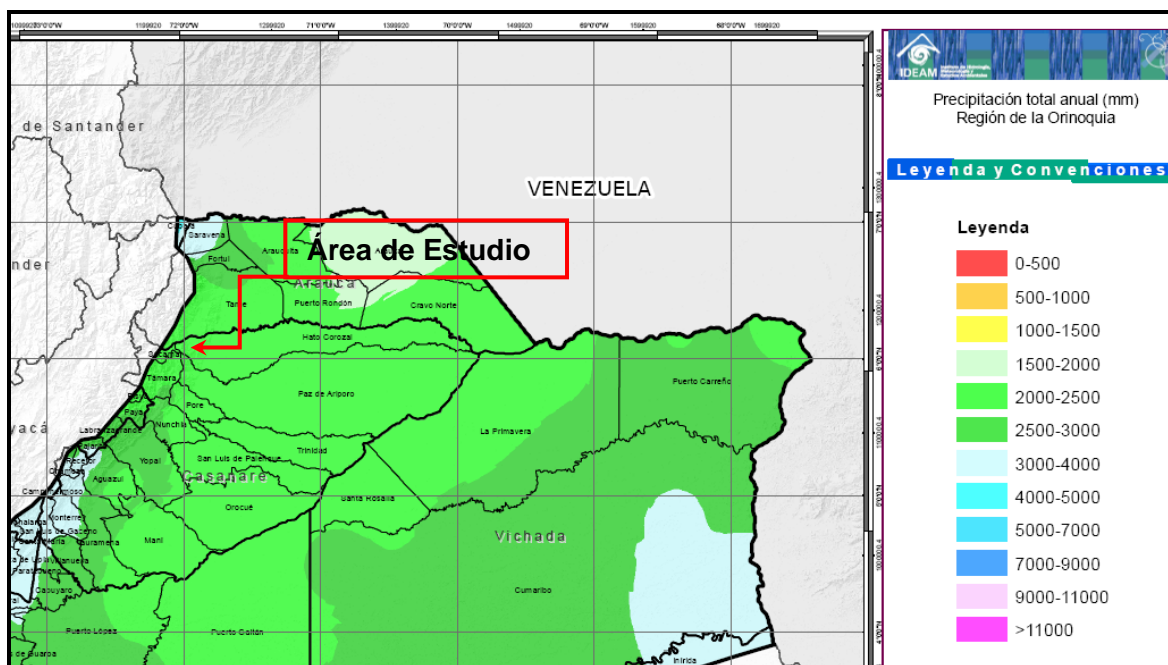
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 5. Distribución Lluvias en el Municipio de Hato Corozal y Área de Estudio



FUENTE: ATLAS HIDROLÓGICO IDEAM

Los datos de precipitación media mensual y máxima en 24 horas se tomaron de la estación más cercana al área de estudio, la cual corresponde a la Estación Santa Inés con código 36020030, localizada en el Municipio de Tame.

En la Tabla No. 2 se presenta la ubicación de la estación meteorológica más cercana al área de estudio.

Tabla No. 2. Estación Hidrometeorológica en el Área de Influencia Sitio de Estudio

Estación	Código	Municipio	Latitud (N)	Longitud (W)	Elevación (msnm)	Corriente
Santa Inés	36020030	Tame	0613	7158	860	San Lope

FUENTE: ARCHIVO TÉCNICO IDEAM

En la Tabla No. 3 se presentan los valores de los meses con menor y mayor precipitación media, registrados en la Estación Arauquita.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	17 de 70


 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Tabla No. 3. Meses con Menores y Mayores Valores de Precipitación Media en el Sitio de Estudio

Estación	Menor Precipitación Media (mm)	Mayor Precipitación Media (mm)	Precipitación Media Anual (mm)
Santa Inés	Enero con 14,9	Junio con 290,0	1.621,4

FUENTE: ARCHIVO TÉCNICO IDEAM

En la Figura No. 6 se presenta la ubicación de la Estación Santa Inés con respecto al sitio de estudio sobre el Caño La Toma, en la Carrera 1 con Diagonal 12 del Municipio de Hato Corozal.

Figura No. 6. Ubicación Estación Santa Inés




FUENTE GOOGLE EARTH

3.3 ANÁLISIS DE LLUVIAS

Para el análisis de precipitación se considera la Estación Santa Inés localizada en el Municipio de Tame por presentar un cubrimiento relativamente homogéneo, además de ser la estación hidrometeorológica más cercana al sitio de estudio.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	18 de 70

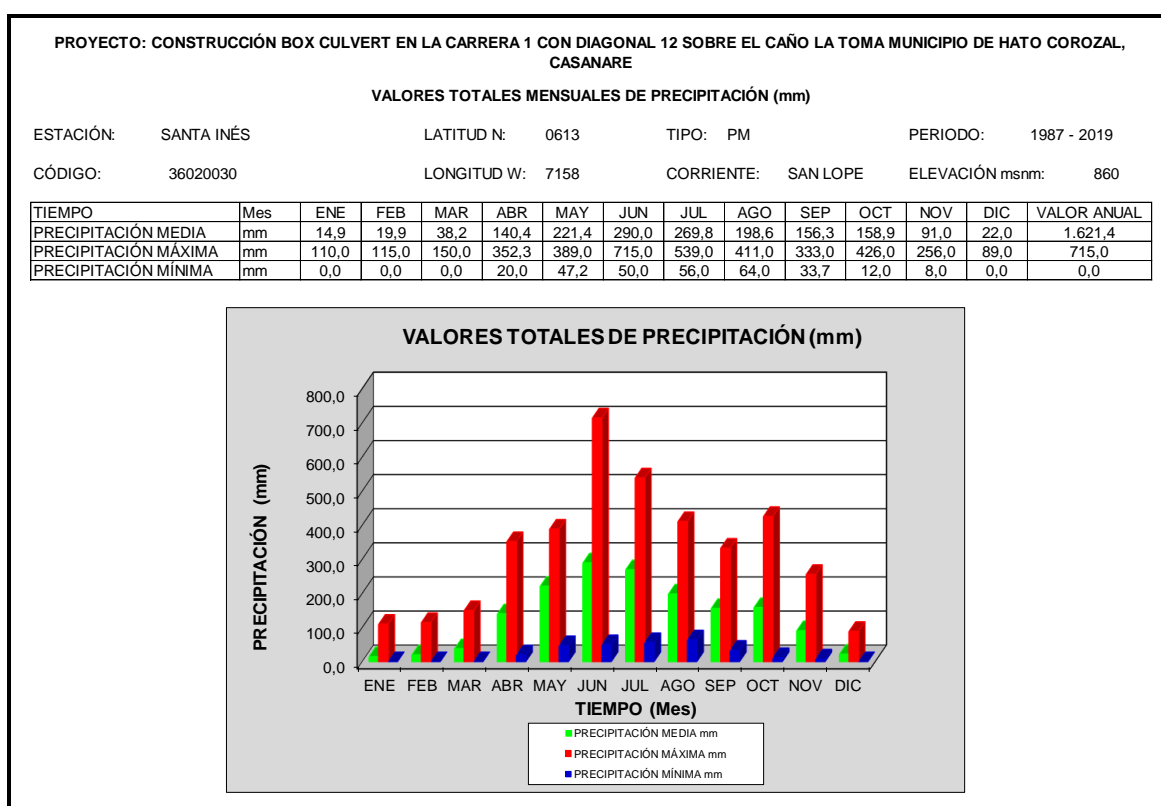
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

3.3.1 Análisis de Precipitación Media

Los registros de valores totales mensuales de precipitación en la Estación Santa Inés, muestran que la precipitación media más baja se presenta en el mes de enero con 14,9 mm. El mes con mayor precipitación media corresponde a junio con 290,0 mm. La precipitación media anual en esta estación es 1.621,5 mm.

En la Figura No. 7, se presentan los valores totales mensuales de precipitación registrada en la Estación Santa Inés.

Figura No. 7. Valores Totales Mensuales de Precipitación Estación Santa Inés




FUENTE: ARCHIVO TÉCNICO IDEAM

3.3.2 Análisis de Precipitación Máxima

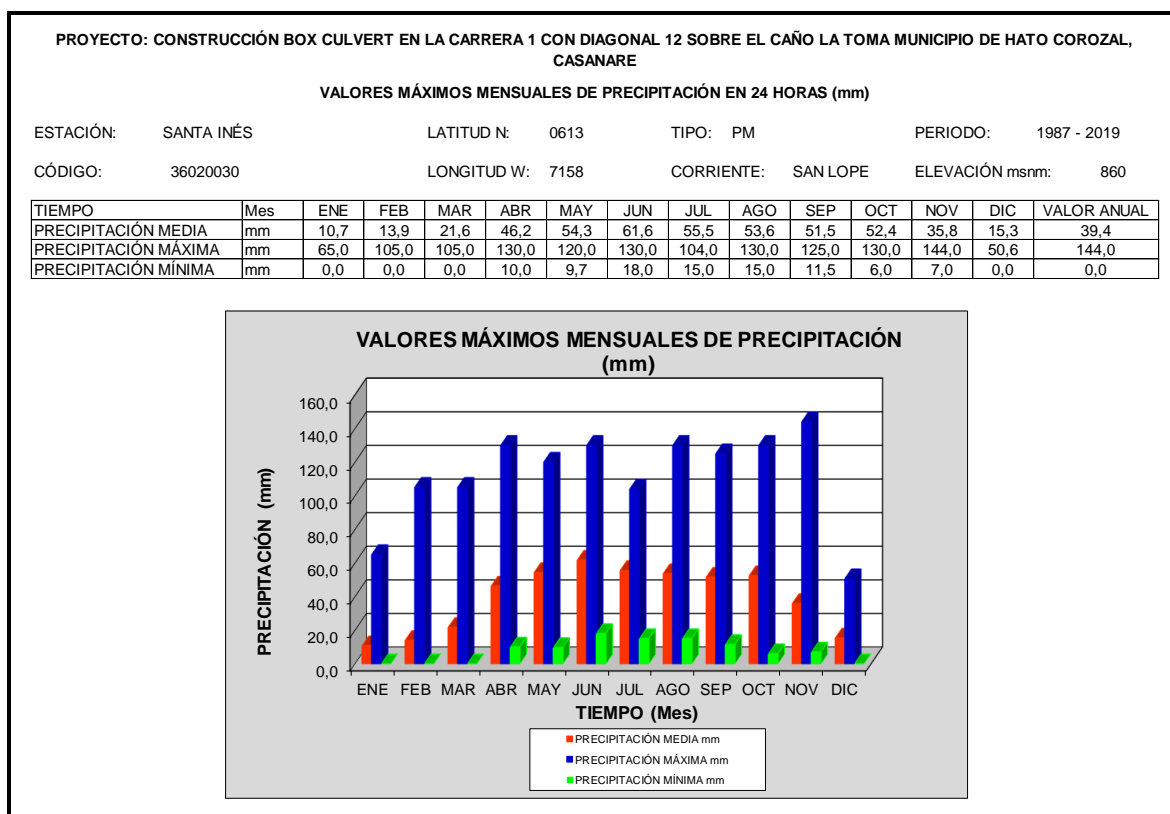
Para el análisis de precipitación máxima se recopiló toda la información disponible correspondiente a lluvia máxima en 24 horas, registrada en la estación pluviométrica existente en el área de interés y sus proximidades. Para el área de estudio se incluye en

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	19 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

la Figura No. 8, los valores de precipitación máxima en 24 horas registrada en la Estación Santa Inés.

Figura No. 8. Valores Máximos Mensuales de Precipitación en 24 Horas Estación Santa Inés




FUENTE: ARCHIVO TÉCNICO IDEAM

En el Anexo No. 2 se presentan los Parámetros Hidrometeorológicos de la estación seleccionada para realizar el análisis hidrológico.

El análisis de precipitación máxima se fundamenta en la evaluación de la información correspondiente a lluvias máximas registradas en 24 horas, para las estaciones pluviométricas existentes en el área de interés y sus proximidades.

Los análisis de lluvias máximas tienen como función la determinación del potencial de escorrentía superficial, mediante el empleo de modelos lluvia escorrentía y la correspondiente concentración de caudales sobre los cauces que conforman la cuenca hidrográfica.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	20 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

3.3.3 Distribución Log – Pearson Tipo III

Aplicando la metodología de Distribución Log – Pearson Tipo III, se obtienen los valores de precipitación máxima en 24 horas para la Estación Santa Inés para los periodos de retorno seleccionados como se puede observar en la Tabla No. 4; en la Tabla No. 5 se incluyen los resultados del análisis de frecuencia para la estación seleccionada, en la cual se consideran para efectos de diseño los periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años.

Tabla No. 4. Distribución Log – Pearson Tipo III Estación Santa Inés

DISTRIBUCIÓN LOG - PEARSON TIPO III VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm) EN 24 HORAS

ESTACIÓN SANTA INÉS

NÚMERO	AÑO	P/MAX	Log (P/MAX)	NÚMERO	AÑO	P/MAX	Log (P/MAX)
1	1987	78,0	1,8921	18	2004	144,0	2,1584
2	1988	36,0	1,5563	19	2005	125,0	2,0969
3	1989	72,0	1,8573	20	2006	100,0	2,0000
4	1990	58,0	1,7634	21	2007	120,0	2,0792
5	1991	75,0	1,8751	22	2008	90,0	1,9542
6	1992	20,0	1,3010	23	2009	130,0	2,1139
7	1993	117,0	2,0682	24	2010	99,0	1,9956
8	1994	100,0	2,0000	25	2011	85,6	1,9325
9	1995	89,0	1,9494	26	2012	92,5	1,9661
10	1996	95,0	1,9777	27	2013	100,5	2,0022
11	1997	115,0	2,0607	28	2014	86,8	1,9385
12	1998	60,0	1,7782	29	2015	76,6	1,8842
13	1999	90,0	1,9542	30	2016	76,7	1,8848
14	2000	130,0	2,1139	31	2017	100,0	2,0000
15	2001	120,0	2,0792	32	2018	84,9	1,9289
16	2002	15,0	1,1761	33	2019	91,5	1,9614
17	2003	130,0	2,1139				

NÚMERO DE DATOS (n)	33			
PRECIPITACIÓN MÁXIMA	144,0			
MEDIA (Y _n)	1,92			
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	0,21			
COEFICIENTE DE OBLICUIDAD	-2,23			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	5	10	25	50
CONSTANTE K _T	0,752	0,844	0,888	0,900
PRECIPITACIÓN MÁXIMA	120,83	126,42	129,19	129,95

FUENTE: RESULTADOS DEL ESTUDIO

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	21 de 70


 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Tabla No. 5. Precipitación Máxima en 24 Horas para el Periodo de Retorno

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA $P(x \leq x_i)$	PERIODO DE RETORNO T_r (AÑOS)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)
		ESTACIÓN SANTA INÉS
0,800	5	120,83
0,900	10	126,42
0,960	25	129,19
0,980	50	129,95

FUENTE: DATOS DEL ESTUDIO

3.3.4 Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia o Curvas I.D.F.

La construcción de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (I. D. F.) para el área de influencia del box culvert sobre el Caño La Toma, se realizó teniendo en cuenta las precipitaciones máximas en 24 horas provenientes de la Estación Santa Inés ubicada en el Municipio de Tame, que es la estación pluviométrica más cercana a la zona de estudio con parámetros completos anuales a nivel multianual.

La metodología simplificada para calcular las Curvas I. D. F. (Manual de Drenaje para Carreteras, INVÍAS 2009), se deducen por correlación con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas.

La ecuación de cálculo es la siguiente:

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

Siendo:

i = Intensidad de la precipitación (mm/h)

T = Periodo de retorno (años)

M = Precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual

t = Duración de la lluvia (min)

a, b, c, d = Parámetros de ajuste de la regresión

Los parámetros a, b, c, d fueron regionalizados para Colombia como se presenta en la Figura No. 9.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	22 de 70


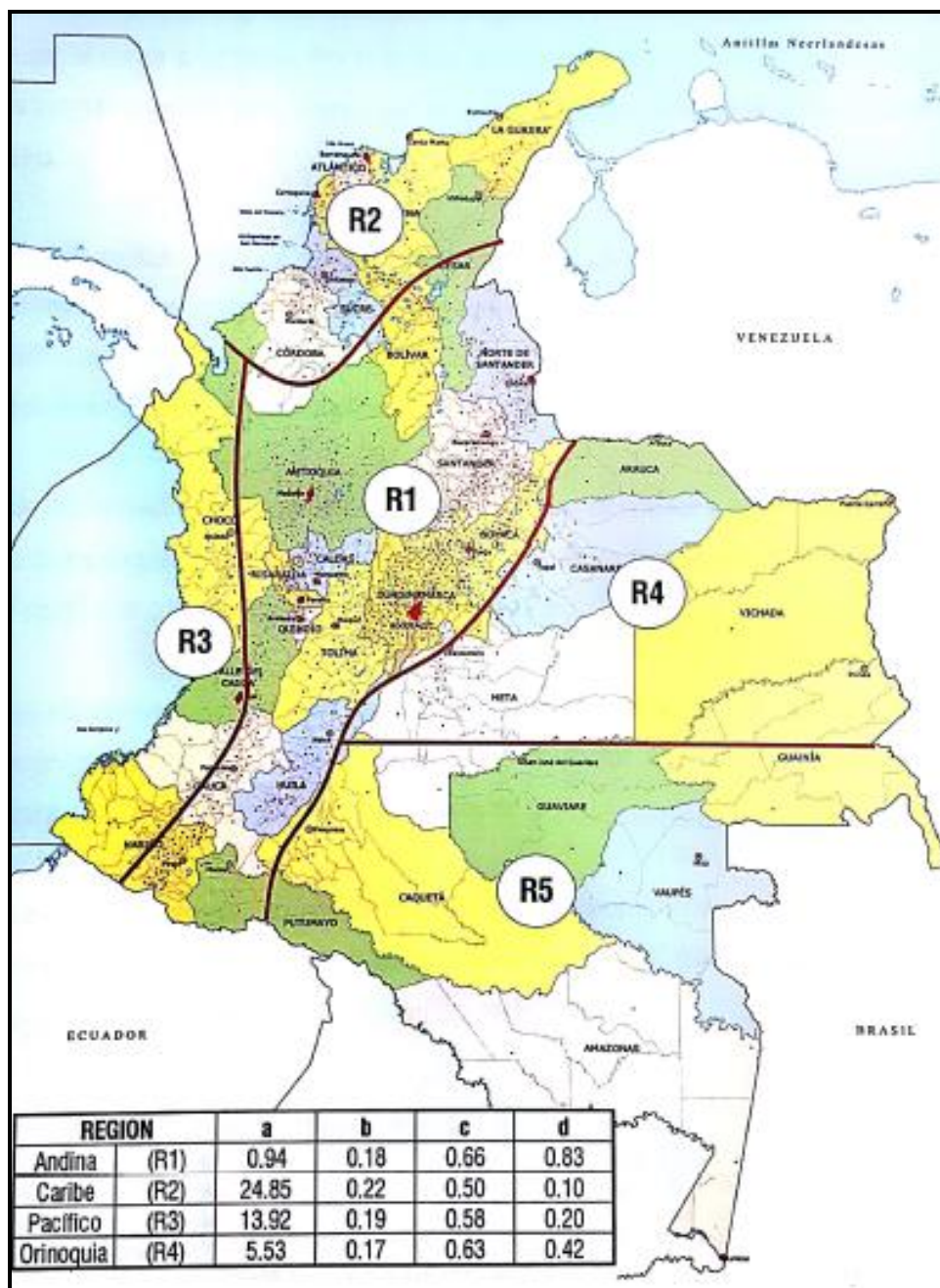

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 9. Regiones en Colombia para Definición de los Parámetros a, b, c, y d



FUENTE: MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS. INVÍAS 2009

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	23 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

En la Tabla No. 6 y Figura No. 10 se presenta la metodología para la elaboración y conformación de las Curvas I. D. F., con los parámetros de la Estación Santa Inés hasta el sitio de estudio sobre el Caño La Toma.

Tabla No. 6. Intensidad – Duración – Frecuencia Sitio de Ponteadero

CURVAS DE INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA ESTACIÓN SANTA INÉS

NÚMERO DE DATOS (n)	33	a =	5,53
PRECIPITACIÓN MÁXIMA	144,0	b =	0,17
MEDIA (Y _n)	91,00	c =	0,63
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	30,13	d =	0,42
COEFICIENTE DE ASIMETRÍA	-0,73		
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN T _c (min)	60		

TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)			
	5	10	25	50
3	319,15	359,06	419,59	472,06
6	206,23	232,02	271,13	305,03
9	159,74	179,72	210,01	236,27
12	133,26	149,92	175,20	197,11
15	115,78	130,26	152,22	171,26
18	103,22	116,13	135,70	152,67
21	93,67	105,38	123,14	138,54
24	86,11	96,88	113,21	127,36
27	79,95	89,95	105,11	118,26
30	74,82	84,17	98,36	110,66
33	70,46	79,27	92,63	104,21
36	66,70	75,04	87,69	98,65
39	63,42	71,35	83,38	93,80
42	60,53	68,09	79,57	89,52
45	57,95	65,20	76,19	85,72
48	55,64	62,60	73,15	82,30
51	53,56	60,25	70,41	79,22
54	51,66	58,12	67,92	76,41
57	49,93	56,18	65,65	73,86
60	48,34	54,39	63,56	71,51

FUENTE: RESULTADOS DEL ESTUDIO

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	24 de 70


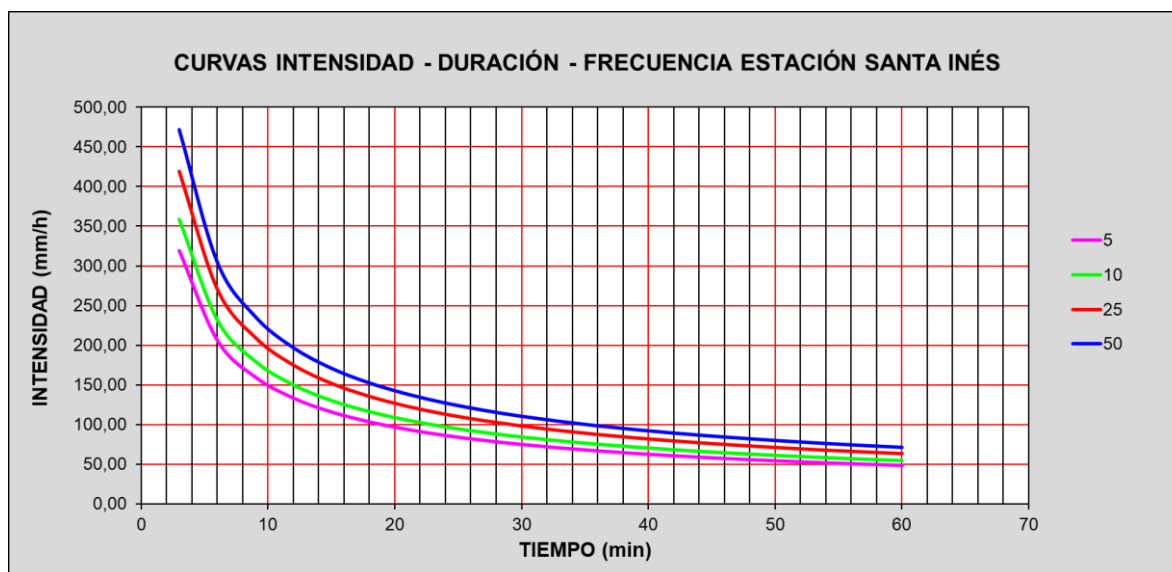
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 10. Curvas I. D. F. Área de Influencia Sitio de Ponteadero



FUENTE: RESULTADOS DEL ESTUDIO

3.4 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN EFECTIVA

La evaluación de caudales se desarrolló bajo Modelos Lluvia – Escorrentía. El análisis de hietogramas de precipitación se obtiene a partir de datos de lluvias máximas en 24 horas, distribuidos temporalmente de acuerdo con una tormenta hipotética SCS Tipo III.


La duración total de lluvia e intervalos de precipitación constante se ajustaron de acuerdo con el tiempo de concentración (determinado según la formulación propuesta por Kirpich en Manual de Drenaje para Carreteras, Invías 2009).

3.4.1 Estimación del Número de Curva de Escorrentía CN

El Soil Conservation Service SCS, desarrolló un método denominado Número de Curva de Escorrentía CN, para calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la interceptación, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha.

En este método, la profundidad de escorrentía (es decir, la profundidad efectiva de precipitación) es una función de la profundidad total de precipitación, y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía CN. El número de curva varía en un rango de 1 a 100, existiendo una función de las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la hoya hidrográfica:

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	25 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p align="center">PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

- 1- Tipo de suelo hidrológico: el grupo hidrológico de suelos describe el tipo de suelo.
- 2- Utilización y tratamiento del suelo: describe el tipo y la condición de la cubierta vegetal.
- 3- Condiciones de la superficie del terreno: la condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie de la hoya hidrográfica para aumentar o impedir la escorrentía directa.
- 4- Condición de humedad antecedente del suelo: tiene en cuenta la historia reciente de la precipitación y, consecuentemente, es una medida de la cantidad almacenada por la hoya.

Este método de número de curva de escorrentía CN fue desarrollado basado en datos de precipitación y escorrentía de 24 horas. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional de agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a alguna retención potencial máxima S . Existe una cierta cantidad de precipitación I_a (abstracción inicial antes del encharcamiento) para lo cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P - I_a$. La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y de las dos cantidades potenciales son iguales. Con base en lo anterior, la precipitación o escorrentía directa P_e se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$$

P_e = Escorrentía directa (mm)

P = Precipitación máxima considerada (mm)

S = Retención potencial o diferencia potencial máxima entre P y P_e a la hora que se inicia la tormenta y representa porcentualmente la pérdida de escorrentía por infiltración, intercepción y almacenamiento superficial (mm).

La retención potencial máxima S se estima por medio de la siguiente formulación (Manual de Drenaje para Carreteras, INVÍAS 2009):


$$S = \left(\frac{25.400}{CN} \right) - 254$$

Siendo CN el número de curva de escorrentía y S dado en milímetros.

3.4.2 Clasificación Hidrológica de los Suelos

Los grupos hidrológicos en que se pueden dividir los suelos son utilizados en el planeamiento de cuencas para la estimación de la escorrentía a partir de la precipitación.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	26 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Los suelos han sido clasificados en cuatro grupos A, B, C y D, de acuerdo con el potencial de escurrimiento así:

A. (Bajo potencial de escorrentía): suelos que tienen alta tasa de infiltración aún cuando estén muy húmedos. Consisten de arenas o gravas bien a excesivamente drenados.

B. (Moderadamente bajo potencial de escorrentía): suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas.

C. (Moderadamente alto potencial de escorrentía): suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos, suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, suelos con textura moderadamente fina a fina.

D. (Alto potencial de escorrentía): suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos, suelos arcillosos con alto potencial de expansión, suelos con estrato arcilloso superficial.

De lo anterior y teniendo en cuenta el perfil estratigráfico del suelo que se encuentra en el sitio de ponteadero del box culvert, se considera que la clasificación hidrológica del suelo es del tipo B.

3.4.3 Uso y Tratamiento del Suelo

El método del número de curva de escorrentía CN, distingue entre suelos cultivados, prados y bosques.

Para suelos cultivados, identifica los siguientes usos y tratamientos del suelo: tierras de descanso, prados, cultivos de hileras, cultivos de granos, vegetales sembrados cercanamente, rotaciones (de pobre a buena), cultivos en hileras rectas, campos sembrados a lo largo de curvas de nivel y cultivos terraceados.


El uso del suelo en el sitio y en el área de influencia del box culvert, es bosque natural y en menor proporción pastos.

3.3.4 Condición Hidrológica

Los prados son evaluados con una condición hidrológica de pasto natural, el porcentaje del área cubierta con pasto natural y el área de pastoreo son estimadas visualmente. Una condición hidrológica pobre corresponde a menos del 50% del área cubierta y alta intensidad de pastoreo. Una condición hidrológica aceptable corresponde al 50% a 75% del área cubierta y media intensidad de pastoreo. Una condición hidrológica buena corresponde a más del 75% del área cubierta y ligera intensidad de pastoreo. Los bosques son pequeñas arboledas aisladas o árboles que han sido sembrados para fincas.

La condición hidrológica para los bosques se determina visualmente como sigue:

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	27 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

1. pobre: densamente pastado o bosques regularmente quemados, con pocos arbustos y muy poca cantidad de humus vegetal.
2. aceptable: con pastos, pero no quemados, con algunos arbustos y moderada cantidad de humus vegetal.
3. buena: protegidos con pasto, con alta cantidad de humus vegetal y muchos arbustos cubriendo la superficie.

Para el área de influencia del box culvert se tiene:

Prados: pasto natural condición hidrológica aceptable

Bosques: condición hidrológica aceptable

3.4.5 Condición de Humedad Antecedente

El método de curva de escorrentía tiene tres niveles de humedad antecedente, dependiendo de la precipitación total a los cinco días previos a la tormenta, según se presenta en la Tabla No. 7.

Tabla No. 7. Precipitación Acumulada para Tres Niveles de Condición de Humedad Antecedente


CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE (AMC)	PRECIPITACIÓN ACUMULADA EN LOS CINCO DÍAS PREVIOS A LA TORMENTA (cm)
I	0 – 3,30
II	3,50 – 5,25
III	> 5,25

FUENTE: HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA, MONSALVE SÁENZ, GERMÁN. EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA.

La condición de humedad antecedente seca (AMC I) tiene el menor potencial de escorrentía, la condición de humedad antecedente promedio (AMC II) tiene un potencial de escorrentía promedio, la condición de humedad antecedente húmeda (AMC III) tiene el mayor potencial de escorrentía. Hjelmfelt fijó el significado de condición de humedad antecedente (AMC), con la condición de humedad antecedente seca (AMC I) que corresponde al 10% de la probabilidad de excedencia, AMC II al 50% y AMC III al 90%.

Teniendo en cuenta la variabilidad de esta condición para diferentes crecientes y su ocurrencia en cualquier época del año, se ha estimado que la condición más desfavorable ocurre en invierno; por tal motivo se selecciona la condición de humedad antecedente promedio (AMC II) o lluvia acumulada durante los cinco días anteriores a la tormenta superior a 5,25 cm. Con lo anterior, se estima que con la condición de humedad antecedente promedio (AMC II) tiene una probabilidad del 50% de exceder a los 5,25 cm de lluvia acumulada en los cinco días previos antes de la tormenta.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	28 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

El suelo en el sitio de ponedero, en resumen, se tiene las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la hoya hidrográfica:

- 1- Tipo de suelo hidrológico: B, Moderadamente bajo potencial de escorrentía.
- 2- Utilización y tratamiento del suelo: bosque natural y en menor proporción pastos.
- 3- Condiciones de la superficie del terreno: pasto natural y cultivos en poca proporción condición hidrológica aceptable; bosque natural condición hidrológica aceptable.
- 4- Condición de humedad antecedente del suelo: Promedio (AMC II).

De acuerdo con la Tabla No. 8 y Figura No. 11 se adopta el valor de número de curva de escorrentía CN para la condición de humedad antecedente promedio (AMC II) para el sitio de ponedero.

Tabla No. 8. Número de Curva de Escorrentía CN

DESCRIPCIÓN Y TIPO DE COBERTURA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	% ÁREA	CN	CN PONDERADO
Pastos	Aceptable	20	69	13,80
Prados continuos protegidos		17	58	9,86
Maleza mezclada con pasto	Aceptable	16	56	8,96
Combinación de bosques y pastos	Aceptable	15	65	9,75
Bosques	Aceptable	23	60	13,80
Caminos y vías		9	74	6,66
NÚMERO DE CURVA DE ESCORRENTÍA CN_{II} (PONDERADO)				62,83

FUENTE: RESULTADOS DEL ESTUDIO

El valor del Número de Curva obtenido se definió con base en las características del terreno donde se construirá el puente vehicular, por lo tanto, su magnitud es única y exclusiva de acuerdo con los parámetros de tipo de suelo hidrológico, utilización y tratamiento del suelo, condiciones de la superficie del terreno y condición de humedad antecedente del suelo.

Los valores de la curva de escorrentía CN para la condición de humedad antecedente promedio, se establecen mediante las siguientes ecuaciones:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,30 - 0,013CN_{II}} \quad CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,43 + 0,0057CN_{II}}$$

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	29 de 70


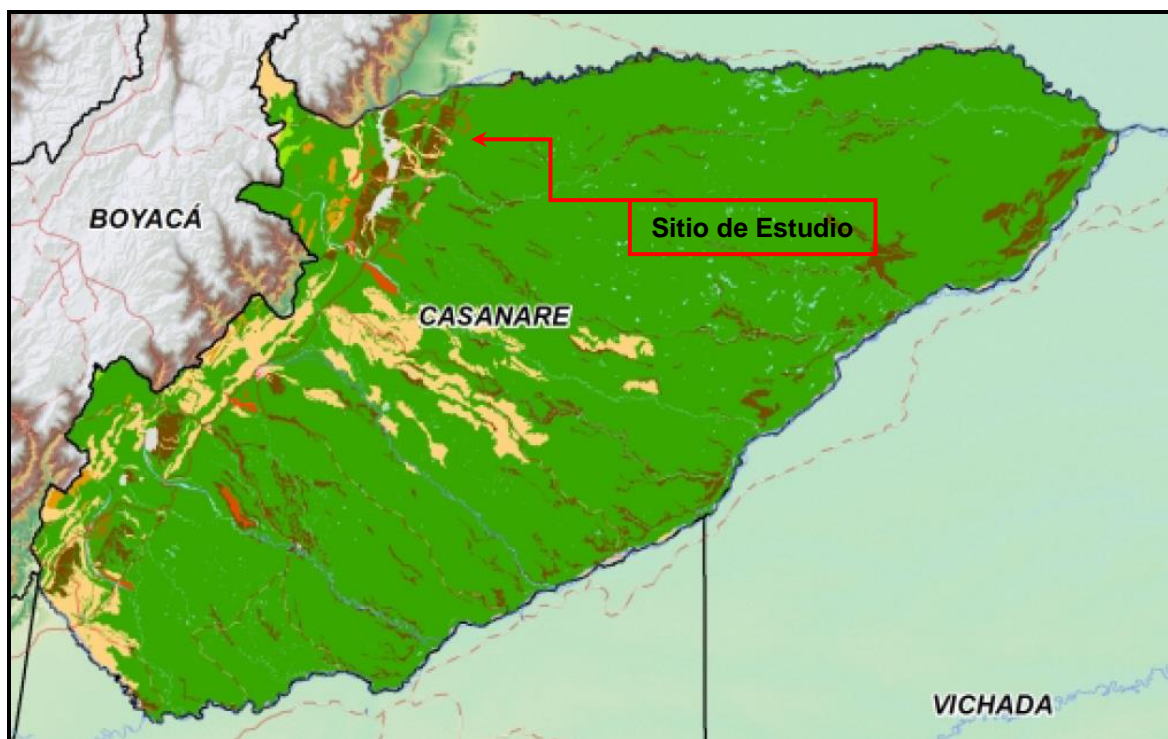
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 11. Cobertura Vegetal Zona de Estudio



FUENTE: <http://metadatos.igac.gov.co/geonetwork/srv/api/records/28093c39-decf-462d-adfb-251e8cef5650/formatters/xsl-view?root=div&output=pdf>

De la aplicación de las anteriores ecuaciones se tiene que el valor correspondiente al número de curva de escorrentía CN_{III} para las condiciones de número de curva de escorrentía CN_{II} en el sitio de ponteadero es: $CN_{III} = 79,72$.


El valor de la retención potencial máxima S_{III} es: $S_{III} = 64,61$ mm. En la Tabla No. 9 se observan los resultados obtenidos.

Tabla No. 9. Número de Curva de Escorrentía CN y Retención Potencial Máxima S

CN_I	CN_{II}	CN_{III}	S_I (mm)	S_{II} (mm)	S_{III} (mm)
42,36	62,83	79,72	345,61	150,27	64,61

FUENTE: RESULTADOS DEL ESTUDIO

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	30 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Los datos de precipitación máxima en 24 horas que se presentan en la Tabla No. 5, se utilizan para obtener el hietograma de precipitación para la Tormenta SCS Tipo III para el puente vehicular sobre el Caño La Toma en la Carrera 1 con Diagonal 12 del Municipio de Hato Corozal. En la Tabla No. 10 y Figura No. 12, se presenta el hietograma de precipitación para el periodo de retorno de 25 años.

Tabla No. 10. Hietograma de Precipitación Caño La Toma, Tr = 25 Años

Tr (Años): 25		Duración Tc (min): 60		
Precipitación (mm): 129,19		Incremento (min): 3		
Tiempo (min)	Intensidad (mm)	Profundidad Acumulada (mm)	Profundidad Incremental (mm)	Precipitación Total (mm)
3	419,59	20,98	20,98	1,24
6	271,13	27,11	6,13	1,33
9	210,01	31,50	4,39	1,44
12	175,20	35,04	3,54	1,58
15	152,22	38,06	3,02	1,77
18	135,70	40,71	2,66	2,02
21	123,14	43,10	2,39	2,39
24	113,21	45,28	2,18	3,02
27	105,11	47,30	2,02	4,39
30	98,36	49,18	1,88	20,98
33	92,63	50,95	1,77	6,13
36	87,69	52,61	1,67	3,54
39	83,38	54,19	1,58	2,66
42	79,57	55,70	1,51	2,18
45	76,19	57,14	1,44	1,88
48	73,15	58,52	1,38	1,67
51	70,41	59,85	1,33	1,51
54	67,92	61,13	1,28	1,38
57	65,65	62,36	1,24	1,28
60	63,56	63,56	1,19	1,19

FUENTE: RESULTADOS DEL ESTUDIO

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	31 de 70


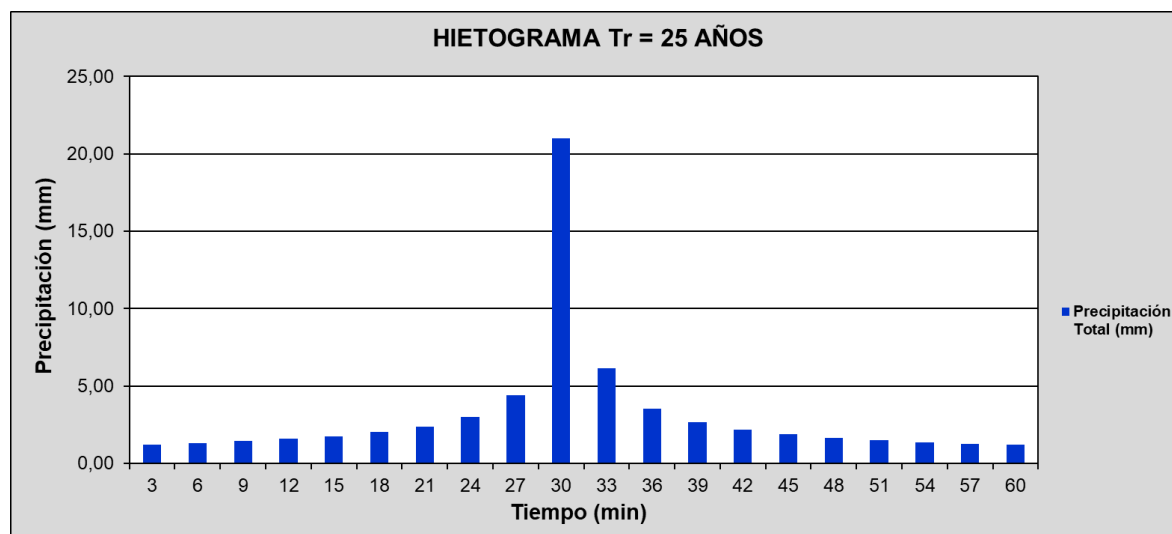
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 12. Hietograma de Precipitación Tormenta SCS Tipo III, Tr = 25 Años



FUENTE: RESULTADOS DEL ESTUDIO

En el Anexo No. 3, se presenta los Hietogramas de Precipitación para los periodos de retorno de análisis.

3.5 ANÁLISIS DE CAUDALES Y SEDIMENTOS

Esta zona geomorfológica presenta cotas entre 240 msnm y 325 msnm y en el sitio de ponedero se ha denominado Zona de Piedemonte. Esta zona se caracteriza por poseer un relieve plano a suavemente ondulado, con un sistema de drenaje pobre, además durante los periodos de invierno provoca fenómenos de inundación, en los cuales se presentan movilizaciones de material, ampliación, profundización del cauce, aumento en el caudal y sedimentos transportados por el Caño La Toma.


3.5.1 Análisis de Caudales Mínimos

De acuerdo con las observaciones de campo y evaluación morfométrica de la cuenca, para época de verano se espera la interrupción o ausencia del flujo en algunos sectores de la cuenca.

3.5.2 Análisis de Caudales Medios

El análisis de caudales medios se realiza con el objeto de obtener el caudal base para su posterior empleo en la estimación de los caudales máximos.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	32 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

3.5.3 Análisis de Caudales Máximos

En el análisis de caudales máximos para el caso de cauces menores constituidos por los caños y quebradas a los que se les ha denominado subcuencas no aforadas, se utiliza para la evaluación de los caudales máximos el modelo de tipo sintético SCS Unit Hydrograph con la ayuda del programa HEC – HMS 4.3, según la metodología que a continuación se expone.

El periodo de retorno establecido para el análisis hidráulico es de 100 años de acuerdo con el Manual de Drenaje para Carreteras (Invías 2009), como se presenta en la Tabla No. 11.

Tabla No. 11. Periodos de Retorno de Diseño en Obras de Drenaje Vial


TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Caída ²	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

Notas: ¹ El periodo de retorno de diseño de las obras podrá variarse, a juicio del ingeniero Consultor, para casos especiales, debidamente justificados.

² En caso de que los taludes de corte de la vía sean inestables se podrá incrementar este periodo de retorno, a juicio del ingeniero Consultor.

FUENTE: MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS. INVÍAS 2009

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	33 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

La evaluación de caudales máximos se apoya en el análisis de crecientes que se presenta a continuación.

3.5.4 Análisis de Crecientes

El análisis de crecientes considera la evaluación de los hidrogramas para las crecientes con períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años.

Para estimar los respectivos hidrogramas se utilizó el modelo de tipo sintético SCS Unit Hydrograph Model¹, que además de involucrar las características fisiográficas de la cuenca y la precipitación máxima para la cual ocurrirá el caudal en un período de retorno específico, contempla la posibilidad de asimilar un almacenamiento o tránsito de las crecientes a través de la cuenca. Cuando la precipitación efectiva cambia en magnitud para los diferentes intervalos de tiempo (intervalos de igual duración), que conforman la duración total de la lluvia, se hace necesario realizar una convolución para determinar el hidrograma compuesto. En este caso los caudales para los distintos periodos de retorno, serán evaluados mediante el programa de modelación hidrológica HEC – HMS 4.3, el cual tiene implementado el SCS Unit Hydrograph Model.

El caudal máximo del SCS Unit Hydrograph Model, se calcula mediante la ecuación:

$$U_p = \frac{C \times C_p \times P_e \times A}{t_p} = \frac{0,275 \times C_p \times P_e \times A}{t_p}$$

Donde:

U_p = Es el caudal máximo, en m³/s

A = Es el área de la cuenca hasta el sitio de interés, en km²

P_e = Es la precipitación efectiva evaluada de acuerdo con la metodología del CN, en mm

C_p = Coeficiente adimensional, variable entre 0,40 y 0,80 tomando valores mayores para hoya con grandes inclinaciones


t_p =Tiempo de retardo de la hoya, es igual al tiempo entre el centro geométrico de la duración de la lluvia neta y el pico del hidrograma unitario, en horas

La evaluación el tiempo de retardo de la hoya se determina mediante la siguiente expresión:

$$t_p = 0,75 \times C_t \times (LL_C)^{0.3}$$

¹ US ARMY CORPS OF ENGINEERS, HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER; HEC-HMS, Technical Reference Manual.; March 2000

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	34 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Donde:

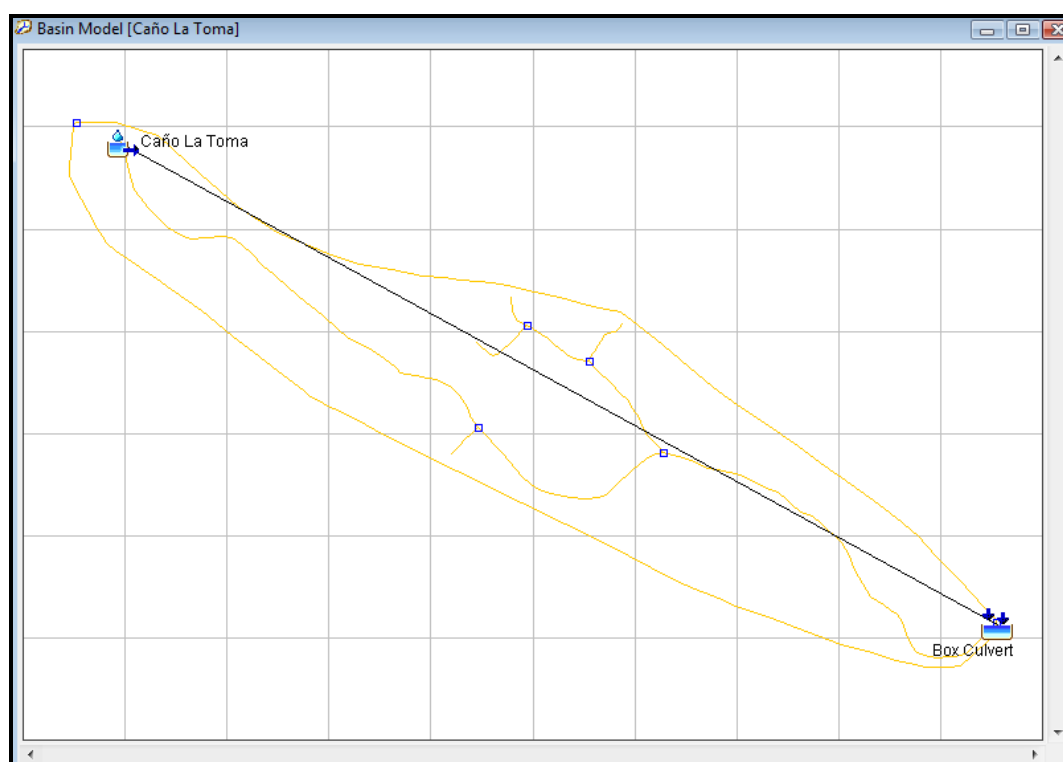
L: Longitud del cauce principal, en km

L_c : Longitud del cauce principal desde el punto más cercano al centroide de la cuenca hasta el sitio de descarga, en km

C_t : coeficiente que oscila en el rango típico de 1,80 a 2,20²

Cudworth, 1989 y USACE, 1987 proponen evaluar en tiempo retardo t_p , en función del tiempo de concentración, T_c . Varios estudios han determinado que t_p corresponde al rango 50% – 75% de T_c . Para la cuenca del Caño La Toma hasta el sitio de ponteadero se adopta $t_p = 0,60T_c$. En la Figura No. 13 se observa el Modelo Hidrológico del sitio de ponteadero, en la Tabla No. 12 y Figura No. 14, se puede apreciar el caudal estimado y el hidrograma para la creciente con periodo de retorno de 25 años.

Figura No. 13. Modelo Hidrológico Caño La Toma




FUENTE: RESULTADOS MODELO HIDROLÓGICO HEC – HMS 4.3, CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

² De acuerdo a estudios realizados en Colombia, Smith 1997:

$C_t = 1,20$ en áreas montañosas; $C_t = 0,75$ en zonas de pie de ladera; $C_t = 0,35$ en valles.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	35 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

En la Tabla No. 13 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla No. 12. Caudal Creciente con Periodo de Retorno de 25 Años

Project: Box Culvert Caño La Toma Simulation Run: Tr = 25 Años Subbasin: Caño La Toma Start of Run: 17abr2021, 08:00 Basin Model: Caño La Toma End of Run: 17abr2021, 09:00 Meteorologic Model: Tr = 25 Años Compute Time: 17abr2021, 15:54:24 Control Specifications: Tr = 25 Años							
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
17abr2021	08:00				0.0	0.0	0.0
17abr2021	08:03	1.24	1.12	0.12	0.0	0.0	0.0
17abr2021	08:06	1.33	1.20	0.13	0.0	0.0	0.0
17abr2021	08:09	1.44	1.30	0.14	0.0	0.0	0.0
17abr2021	08:12	1.58	1.42	0.16	0.1	0.0	0.1
17abr2021	08:15	1.77	1.59	0.18	0.1	0.0	0.1
17abr2021	08:18	2.02	1.82	0.20	0.2	0.0	0.2
17abr2021	08:21	2.39	2.15	0.24	0.3	0.0	0.3
17abr2021	08:24	3.02	2.72	0.30	0.4	0.0	0.4
17abr2021	08:27	4.39	3.95	0.44	0.6	0.0	0.6
17abr2021	08:30	20.98	18.31	2.67	0.8	0.0	0.8
17abr2021	08:33	6.13	4.67	1.46	1.2	0.0	1.2
17abr2021	08:36	3.54	2.54	1.00	1.7	0.0	1.7
17abr2021	08:39	2.66	1.84	0.82	2.3	0.0	2.3
17abr2021	08:42	2.18	1.47	0.71	3.0	0.0	3.0
17abr2021	08:45	1.88	1.24	0.64	3.9	0.0	3.9
17abr2021	08:48	1.67	1.08	0.59	4.9	0.0	4.9
17abr2021	08:51	1.51	0.96	0.55	6.0	0.0	6.0
17abr2021	08:54	1.38	0.86	0.52	7.0	0.0	7.0
17abr2021	08:57	1.28	0.79	0.49	8.0	0.0	8.0
17abr2021	09:00	1.19	0.72	0.47	8.8	0.0	8.8

FUENTE: RESULTADOS MODELO HIDROLÓGICO HEC – HMS 4.3, CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

El caudal obtenido para el periodo de retorno de 25 años es satisfactorio y se toma como base para el modelo hidráulico, con el cual se establecen las condiciones de Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias, Gálbo y se definen las Cotas de Cimentación del Box Culvert sobre el Caño La Toma en la Carrera 1 con Diagonal 12 del Municipio de Hato Corozal.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	36 de 70


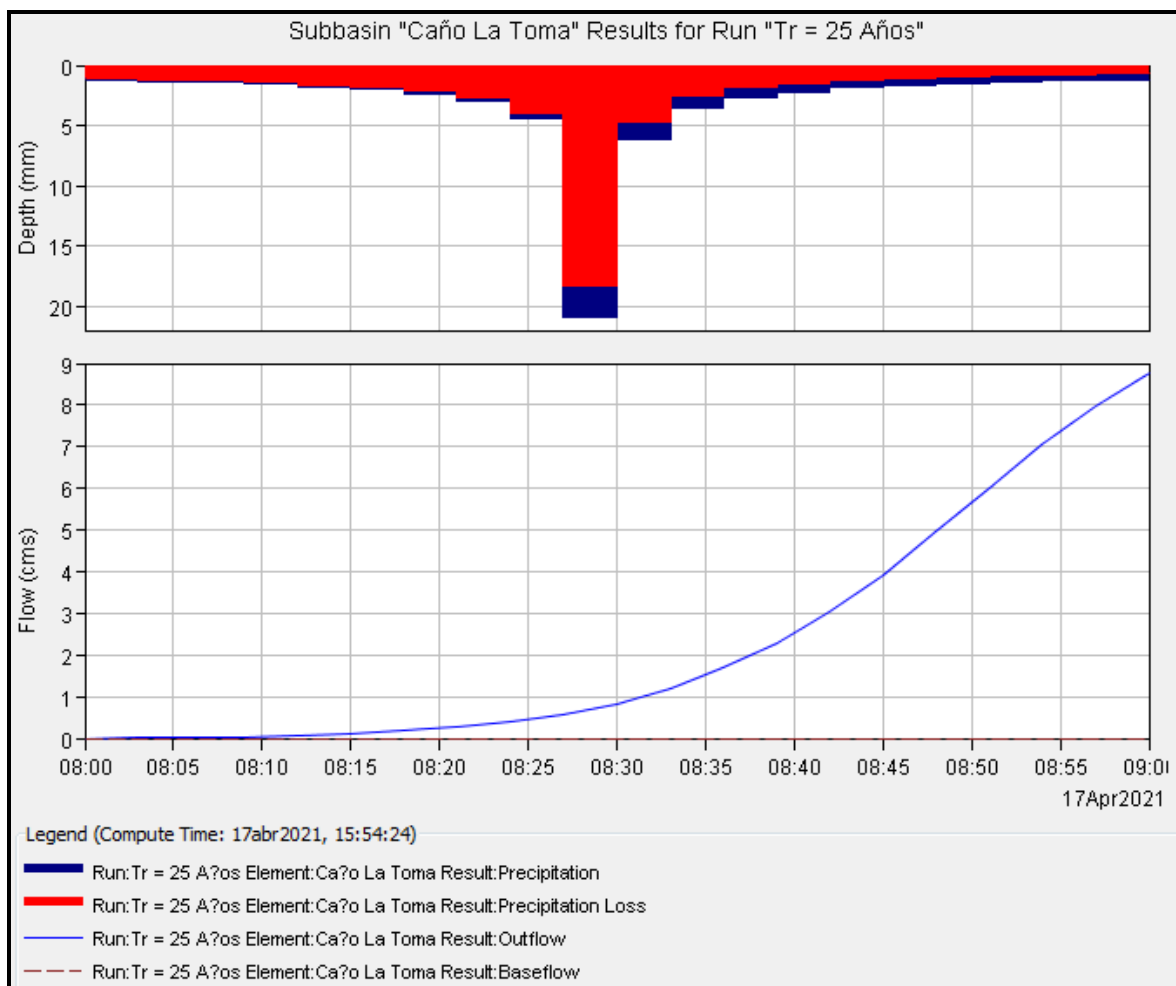
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 14. Hidrograma para la Creciente con Periodo de Retorno de 25 Años



FUENTE: RESULTADOS MODELO HIDROLÓGICO HEC – HMS 4.3, CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

En el Anexo No. 4, se presenta los resultados de la Modelación Hidrológica mediante la aplicación de Modelos Lluvia – Escorrentía por medio del Software HEC – HMS 4.3, para los periodos de retorno de análisis.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	37 de 70


 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Tabla No. 13. Caudal de Diseño Modelo Hidrológico HEC – HMS 4.3

PERIODO DE RETORNO Tr (AÑOS)	CAUDAL DE DISEÑO (m ³ /S)
5	5,00
10	6,30
25	8,80
50	11,30

FUENTE: RESULTADOS MODELO HIDROLÓGICO HEC – HMS 4.3, CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL


3.5.5 Análisis de Sedimentos

Los sedimentos pueden clasificarse en dos grandes categorías, sedimentos arcillosos o “cohesivos” y sedimentos granulares o “no cohesivos”. Los sedimentos granulares comprenden los cantos, bloques, gravas y arenas; los sedimentos arcillosos son esencialmente mezclas de limos y arcillas.

Los sedimentos predominantes que se encuentran en el lecho y taludes del Caño La Toma en el sitio de construcción del box culvert, son en su gran mayoría sedimentos granulares de grano grueso, correspondiendo a bolos y gravas en matriz de arena de grano medio de color café claro. Este tipo de material se encuentra en las dos márgenes y cauce central del Caño La Toma, en la Carrera 1 con Diagonal 12 del Municipio de Hato Corozal.

El tamaño de las partículas en el sitio de ponteadero es de bolos y gramas embebidos en matriz de arena de grano medio, con un diámetro medio 7 mm.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	38 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

4. HIDRÁULICA DE RÍOS

4.1 GEOMORFOLOGÍA

El movimiento del agua que circula por el cauce de una corriente de agua produce el desprendimiento y transporte de los materiales que conforman su perímetro mojado. En una cañada o río pueden ocurrir dos tipos de erosión general que afectan el cauce cambiando la geomorfología de la cuenca:

- Erosión lateral que amplía su ancho, aumentando la altura de los taludes.
- Profundización del cauce.

La erosión en ambos casos depende de las características geotécnicas de los materiales del fondo y los taludes, su geometría, pendiente y características del flujo de agua. La estabilidad del talud en sí depende de los parámetros de resistencia al corte del suelo (cohesión c y ángulo de fricción interna ϕ), el peso unitario, la altura, pendiente y la presencia y características de discontinuidades geológicas.

La litología controla en muchos casos los anchos y profundidades de los canales y la tectónica afecta en forma determinante el alineamiento del río.


4.1.1 Afloramiento de Roca

En zonas de alta montaña, los cauces semirrectos o sinuosos son generalmente controlados en su totalidad por los afloramientos de roca, los cuales actúan como barreras que impiden la divagación y profundización del cauce. En áreas donde aparecen afloramientos de roca y al mismo tiempo valles de depósitos aluviales, cuando el río se acerca a un afloramiento rocoso se genera un punto de control que actúa como direccionador de la corriente, generándose una modificación en el alineamiento del río. De esta manera la forma del cauce sufre modificaciones bruscas de su forma en planta cada vez que este es controlado por un afloramiento de roca. La presencia de roca en el fondo del cauce impide la profundización y en el momento de las grandes crecientes, al no poder socavar el río trata de erosionar las orillas, produciéndose ampliación lateral del cauce.

4.1.2 Tectónica

La tectónica actúa como un elemento que genera una gran discontinuidad dentro del patrón litológico. Los ríos tratan de alinearse a lo largo de las fallas geológicas principales que actúan como grandes líneas de debilidad. De igual forma, la neotectónica por sus movimientos recientes puede controlar el movimiento del río, lo cual ocurre en cauces aluviales donde movimientos neotectónicos pueden modificar el alineamiento del río. Los

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	39 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

cambios bruscos de alineamiento de las corrientes comúnmente están relacionados con fallas o fracturas geológicas o cambios de litología.

4.1.3 Producción de Sedimentos

La cantidad y características de los sedimentos dependen principalmente de la geología; especialmente de la litología, estructura y meteorización. Algunos materiales como las rocas altamente fracturadas y poco meteorizadas permiten la formación de cauces con bloques de gran tamaño.

4.1.4 Erodabilidad de los Materiales

Los ríos sobre materiales erosionables tienden a ser más sensitivos que los que se encuentran sobre materiales muy resistentes a la erosión. En el caso del caño del proyecto, los materiales han sido depositados recientemente y presentan mayor erosionabilidad que los materiales más antiguos sobre los cuales están emplazados. Para la cuenca del Caño La Toma los efectos de la geología sobre la morfología fluvial, están controlados básicamente por la producción de sedimentos y la erodabilidad de los materiales.

4.2 DINÁMICA E HIDRÁULICA FLUVIAL

En los ríos varia permanentemente la sección transversal, el talud, el fondo y la rugosidad, lo cual genera cambios en las condiciones de flujo. Además, los ríos aluviales muestran un cambio significativo de movilidad del fondo y las orillas especialmente durante y después de las crecientes. Los aumentos de caudal producen cambios momentáneos de la sección, lo cual se manifiesta en cambio en las condiciones de flujo.


La intervención antrópica constituye uno de los factores más representativos en cuanto a la dinámica de las corrientes. Por ejemplo, la construcción de un puente produce represamiento aguas arriba y direccionamiento del flujo aguas abajo, las obras laterales de protección producen direccionamiento de la corriente aguas abajo.

4.2.1 Efectos de la Intervención Antrópica

Las modificaciones en los caudales y carga de los sedimentos por la deforestación y las prácticas de cultivos representan alteraciones importantes en el régimen del río, ocasionando modificaciones en la morfología de la corriente.

Por ejemplo, es común al deforestar que se disminuya la sinuosidad del río y ocurra profundización acelerada, dependiendo de la sensibilidad de la corriente. La deforestación, además, aumenta la carga de sedimentos.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	40 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

4.2.1.1 Construcción de Puentes

Los cruces de vías u obras lineales superficiales sobre las corrientes o ríos necesariamente equivalen a un cambio en las condiciones de la corriente, y en algunos casos se produce modificaciones que conducen a problemas de erosión. El hombre puede forzar un río hacia una condición no natural, pero el río intentará nuevamente volver a su condición natural.

Entre más fuerte es la modificación, mayor es la reacción de la quebrada. El trabajo de controlar un río es más fácil si no se trata de forzarlo.

Los cruces de puentes deben proyectarse en tramos semirrectos evitando los meandros y cauces trenzados. Los cruces deben hacerse en alineamiento a 90° con la dirección del flujo en el momento de una avenida; y la luz del puente debe ser tal, que afecte lo menos posible la sección del cauce. Las secciones deben diseñarse teniendo en cuenta que los sedimentos son un porcentaje importante del caudal, y que la concentración de sedimentos aumenta considerablemente la rugosidad del canal.

4.2.1.2 Efectos de la Reconstrucción de una Corriente

Al rectificar una corriente se induce una pendiente mayor del cauce, aumentando la velocidad y la erosión. El cauce se profundiza en forma acumulativa de abajo hacia arriba, se inestabilizan los taludes, el río tiende a trenzarse, ampliando su cauce y produce socavación en los estribos y pilas de los puentes. Además, se aumenta la rata de transporte de sedimentos creando problemas de sedimentación y meanderización aguas abajo de la rectificación.


4.2.1.3 Profundización del Cauce

Al aumentar el caudal aumenta la velocidad y por lo tanto, aumenta la fuerza abrasiva de la corriente así como el tamaño de los sedimentos o fragmentos de roca que pueden ser transportados. El resultado es una profundización del fondo del canal.

Las causas de la profundización del cauce entre otras se tienen:

1. Cambios climáticos
2. Aumento de los caudales pico por cambios del uso del suelo (deforestación o urbanización)
3. Descenso del nivel de base por explotación de materiales
4. Aumento de la pendiente por obras de canalización
5. Disminución de la carga sólida aguas arriba de la corriente
6. Estrechamiento del cauce por construcción de muros o protección laterales, puentes, etc.
7. Inestabilidad natural del cauce por procesos de evolución geomorfológica

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	41 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

La profundización del cauce genera un desnivel mayor en la altura de la orilla hasta que se supera el límite de estabilidad de los taludes (altura crítica) y estos fallan, provocando el ensanchamiento del cauce.

4.2.1.4 Inestabilidad Lateral

La inestabilidad lateral de los cauces puede deberse a la profundización de los mismos o a un proceso de la dinámica morfológica de la corriente. La dinámica natural de la corriente genera modificaciones tanto en la planta como en la sección de las corrientes. De lo anterior se tiene que la intervención antrópica en el caño, se produce claramente por la construcción del puente y por la inestabilidad lateral.

4.3 PARÁMETROS HIDRÁULICOS FUNDAMENTALES

La hidráulica de ríos o de una corriente de agua en general, incluye el modelamiento matemático del flujo de agua.

Las ecuaciones básicas utilizadas para simular los procesos fluviales son:

1. Ecuación de continuidad de agua
2. Ecuación de continuidad de sedimentos
3. Ecuación de momentum de flujo
4. Ecuación de transporte de sedimentos

Para el análisis de la hidráulica fluvial es de gran importancia el entender dos parámetros fundamentales:

4.3.1 Número de Reynolds

Se determina por medio de la siguiente expresión.


$$Re = \frac{v * Rh * \rho}{\mu}$$

4.3.2 Número de Froude

Se calcula por medio de:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g * y}}$$

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	42 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Donde:

Re = Número de Reynolds

Fr = Número de Froude

v = Velocidad promedio (cm/s)

Rh = Radio hidráulico

y = Profundidad del flujo

ρ = Densidad del flujo

μ = Viscosidad cinemática ($\approx 1,40 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

g = Aceleración de la gravedad ($9,80 \text{ m/s}^2$)

Para el Número de Froude se tiene que, si es menor a uno, el régimen es subcrítico o tranquilo; y si el número de Froude Fr es mayor de uno el régimen es supercrítico o rápido. Si es igual a uno se tiene la condición de flujo crítico

4.3.3 Ecuación Fundamental del Flujo

El flujo puede expresarse por medio de la ecuación de Chezy o de Manning.

4.3.3.1 Ecuación Manning

Las ecuaciones de Manning y Limerinos resumen el criterio tradicional de la hidráulica. Se expresa por medio de:

$$Q = \frac{1,49A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n} \quad (\text{Ecuación de Manning})$$

Donde:

A = Área de la sección (m^2)

R = Radio hidráulico, es igual al área sobre el perímetro húmedo

S = Pendiente

n = Coeficiente de rugosidad

4.3.3.2 Determinación del Coeficiente de Rugosidad de Manning

Para determinar este coeficiente es necesario tener en cuenta estos factores: tipo de material en el fondo del cauce, la irregularidad, la variación de las secciones transversales, las obstrucciones del cauce, la vegetación, los meandros y trenzas.

Para tener en cuenta estos factores se calcula el Coeficiente de Rugosidad de Manning como una suma de las rugosidades con cada uno de los factores anteriores, como se presenta en la Tabla No. 14.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	43 de 70


 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Tabla No. 14. Metodología para Calcular el Coeficiente de Rugosidad de Manning

Factor	Descripción del Factor	Valor Recomendado de n	Valor Determinado de n
Material del fondo del cauce	Suelo fino	0,020	n ₁ =
	Roca	0,025	
	Arena o grava fina	0,024	
	Grava gruesa	0,028	
Irregularidad del fondo del cauce	No hay irregularidades	0,000	n ₂ =
	Irregularidades menores	0,005	
	Irregularidades moderadas	0,010	
	Irregularidades severas	0,020	
Cambio de secciones transversales	Gradual	0,000	n ₃ =
	Ocasional	0,005	
	Muchos cambios	0,010 a 0,015	
Obstrucciones o grandes bloques en el cauce	Ninguno	0,000	n ₄ =
	Menores	0,010 a 0,015	
	Apreciables	0,020 a 0,030	
	Severos	0,040 a 0,060	
Vegetación en el cauce	Baja	0,005 a 0,010	n ₅ =
	Media	0,010 a 0,020	
	Alta	0,025 a 0,050	
	Muy alta	0,050 a 0,100	
n cauce recto = n ₁ + n ₂ + n ₃ + n ₄ + n ₅			
Meandros y trenzas	Menores (Sinuosidad de 1,0 a 1,20)	0,000	n ₆ =
	Apreciables (Sinuosidad de 1,20 a 1,50)	0,15 x n cauce recto	
	Severas (Sinuosidad mayor a 1,50)	3,30 x n cauce recto	
n total del cauce recto = n ₁ + n ₂ + n ₃ + n ₄ + n ₅ + n ₆			

FUENTE: CONTROL DE EROSION EN ZONAS TROPICALES. JAIME SUAREZ DIAZ. UIS.


El coeficiente de rugosidad adoptado es el resultado del siguiente análisis:

Canal Principal:

$$n_1 = 0,022$$

$$n_2 = 0,006$$

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	44 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

$$\begin{aligned}
 n_3 &= 0,008 \\
 n_4 &= 0,005 \\
 n_5 &= 0,013 \\
 n &= 0,054 \\
 n_6 &= n \cdot 0,00 = 0,054 \cdot 0,00 = 0,00 \\
 n_T &= n + n_6 = 0,054 + 0,00 \\
 n_T &= 0,054
 \end{aligned}$$

A partir de la ecuación de rugosidad Manning y de la Tabla No. 14, se estimó en 0,054 para el canal principal y de 0,064 para las bancas o márgenes que definen el cauce.

4.4 PARÁMETROS HIDRÁULICOS INDICATIVOS DE ESTABILIDAD

La evaluación de la estabilidad de los cauces normalmente se puede determinar mediante el análisis comparativo de la fuerza tractiva, la resistencia del suelo a la fuerza tractiva y la velocidad crítica a la cual se produce erosión, con respecto a los valores actuantes para la condición de caudales de diseño.

4.4.1 Fuerza Tractiva τ_o

La fuerza tractiva es la fuerza con que el agua en movimiento de una corriente ejerce sobre las partículas de suelo, es decir, es la fuerza de corte que aplica el flujo sobre las partículas del cauce en un determinado punto. Para un canal en régimen de flujo permanente y uniforme, la fuerza tractiva ejercida por el flujo de agua sobre el material de fondo, es dada por:


$$\tau_o = \rho \left[\frac{V_o}{2,50 \ln \left(12,30 \frac{y}{k_s} \right)} \right]^2$$

Dónde:

τ_o = Fuerza tractiva
 ρ = Peso específico agua – suelo
 V_o = Velocidad inicial del agua
 y = Altura del talud en el punto de análisis
 k_s = Rugosidad del material en el fondo del cauce en el punto de análisis

La velocidad inicial del agua se calcula mediante la siguiente ecuación:

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	45 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

$$V_o = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Siendo:

V_o = Velocidad inicial del agua

R = Radio hidráulico (área de la sección dividida por el perímetro mojado de la misma)

S = Pendiente longitudinal del fondo del cauce en el sitio de estudio

n = Coeficiente de Rugosidad de Manning en el fondo del cauce en el sitio de estudio

Aplicando la ecuación se obtiene que la velocidad inicial del agua es $V_o = 1,33$ m/s, en el sitio de análisis para la construcción del box culvert sobre el Caño la Toma, en la Carrera 1 con Diagonal 12 del Municipio de Hato Corozal.

De acuerdo con los resultados de ensayos de laboratorio realizados en muestras de suelo del sitio de estudio, se tiene que la fuerza tractiva que el agua ejerce sobre el cauce y el fondo es $\tau_o = 8,59$ ton/m².

4.4.2 Resistencia del Suelo a la Fuerza Tractiva τ_c

Así como el agua ejerce una fuerza tractiva sobre las partículas de suelo, a su vez el suelo trata de resistir esa fuerza de corte. Cada suelo tiene una tensión crítica máxima τ_c o resistencia máxima a la fuerza tractiva. Existe una gran cantidad de expresiones matemáticas para calcular la resistencia del suelo a la fuerza tractiva, entre estas se encuentran los criterios de Schoklitsch, Leliavsky, Shields, Lane y Carson, Miller, Meyer – Peter y Criterio de Dunn.

El fondo del Caño La Toma en el sitio de construcción del box culvert es granular de grano grueso (bolos y gravas en matriz de arena de grano medio de color café claro), se utiliza el Criterio de Shields, el cual se obtiene por medio de la siguiente formulación:

$$\tau_c = 0,06\gamma_s d$$

Siendo,


τ_c = Resistencia del suelo a la fuerza tractiva

γ_s = Peso unitario seco del suelo en el fondo del cauce en el sitio de análisis

d = Diámetro medio de los materiales del fondo del cauce en el sitio de análisis

La multiplicidad de criterios o expresiones matemáticas para determinar la tensión crítica máxima, es un indicativo de la incertidumbre de los modelos utilizados. Sin embargo, estas fórmulas son muy utilizadas para la estimación del transporte de sedimentos y para

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	46 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

determinar el tamaño de las rocas o bloques para la protección de taludes y para revestimiento de canales y cauces.

La resistencia del suelo a la fuerza tractiva es $\tau_c = 8,19 \text{ ton/m}^2$

Se observa que la fuerza tractiva es ligeramente mayor que la resistencia del suelo a esa fuerza tractiva, por lo tanto, se espera que el nivel de socavación sea muy bajo para el periodo de retorno de diseño ($T_r = 25$ años).

4.4.3 Velocidad Crítica v_c

El procedimiento para determinar la velocidad crítica, consiste en determinar la velocidad de la corriente para tener un punto de comparación y establecer si la fuerza tractiva calculada, produce el desprendimiento o arranque de partículas de suelo y generar erosión lateral y de fondo. La velocidad de la corriente se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$v_o = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

La velocidad inicial de la corriente es $v_o = 1,33 \text{ m/s}$

Empleando el valor de la Tensión Crítica de Shields adimensional C^* (0,056), la expresión de fuerza tractiva, la fórmula de Manning para la pendiente motriz y la fórmula de Strickler para el coeficiente de rugosidad de Manning, se puede obtener la siguiente expresión para la velocidad crítica.

$$v_c = 21 \left(\frac{R_H}{d_{50}} \right)^{1/6} \sqrt{C_* * \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} * d_m}$$

Dónde:

v_c = velocidad crítica

R_H = Radio hidráulico \approx Profundidad hidráulica

γ_w = Peso específico del agua


γ_s = Peso específico del material sólido

d_{50} = Diámetro cuya fracción gruesa es superior al 50%

d_m = Diámetro característico (d_{30}) del material de fondo del cauce en el sitio de análisis

La velocidad crítica promedio obtenida es de 0,54 m/s, confirmando la tendencia al movimiento de los materiales del fondo del cauce, ya que la velocidad de la corriente

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	47 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

obtenida es mayor a la velocidad crítica o de corte del fondo del cauce del Caño La Toma en el sitio de construcción del box culvert.

4.5 MODELO DE CÁLCULO HIDRÁULICO

El análisis hidráulico de la corriente para el tramo de la quebrada en estudio, se realiza mediante el Modelo y Programa de Cálculo HEC – RAS 5.0.1 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) desarrollado y publicado por US Army Corps of Engineers, el cual constituye una actualización de los modelos HEC – 2 y HEC – 6.

Definido un modelo geométrico de los cauces y las estructuras hidráulicas que lo intervengan (a partir de secciones transversales), asignados los coeficientes de Manning tanto para el canal principal como para las bancas, habiendo suministrado datos de caudal y establecidas las condiciones de frontera apropiadas aguas arriba y aguas abajo del tramo en estudio, el programa HEC – RAS evalúa entre otros parámetros:


- Perfil de flujo longitudinal.
- Línea de energía.
- Profundidad crítica.
- Perfil de velocidad en cada sección transversal.
- Pérdida de energía por fricción y por contracción o expansión.
- Tensión tangencial o esfuerzo de corte
- Radio hidráulico
- Profundidad hidráulica

El Modelo HEC – RAS, es un modelo de cálculo de flujo unidimensional, que para análisis de flujo estable emplea las ecuaciones de energía y momento incluyendo pérdidas por fricción y por contracción o expansión del flujo. Las consideraciones para la aplicación del modelo son las siguientes:

- 1) Flujo estable.
- 2) El flujo es gradualmente variado (excepto en estructuras hidráulicas como puentes o alcantarillas. En estos sitios donde el flujo puede ser rápidamente variado se emplea la ecuación de momento o ecuaciones empíricas para realizar el cómputo).
- 3) El flujo es unidimensional (solo se consideran las componentes de velocidad en la dirección del flujo).
- 4) El cauce de la corriente presenta pendientes pequeñas.

Los criterios y consideraciones concernientes al cálculo hidráulico mediante el modelo HEC – RAS se presentan en la memoria de cálculo hidráulico.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	48 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

5. ANALISIS DE LA SOCAVACION

La socavación consiste en la profundización del nivel del fondo del cauce de una corriente causada por el aumento del nivel de agua en las avenidas, modificaciones en la morfología del cauce o por la construcción de estructuras en el cauce como puentes, espigones, etc.

Los puentes y otras estructuras representan una contracción del ancho del cauce y al presentarse un aumento en los caudales de la corriente, el aumento de la velocidad y la turbulencia en la contracción puede generar niveles de socavación de varios metros.

5.1 FUNDAMENTOS DE LA SOCAVACIÓN

Al evaluar la socavación en el sitio de un puente se debe tener en cuenta seis componentes:

1. Socavación no recuperable: es el cambio en el nivel del fondo del cauce con el tiempo a 10, 50, 100 o 500 años. Esta profundización o agradación del cauce ocurre en longitudes importantes de la corriente en un proceso que obedece a procesos geomorfológicos, los cuales pueden ser acelerados por la intervención antrópica de la cuenca o el cauce.


2. Socavación por aumento del caudal: al aumentar el caudal la velocidad aumenta y se produce erosión en el fondo de la corriente. Al bajar nuevamente el nivel de la corriente, comúnmente esta socavación se recupera por sedimentación. Al pasar la avenida se produce sedimentación y generalmente el cauce recupera, al menos parcialmente, el material socavado durante el paso de la corriente.

3. Socavación por contracción del cauce: la construcción de un puente puede disminuir el ancho del cauce para el paso de grandes caudales y al presentarse los caudales, se produce un aumento extraordinario de las velocidades en la contracción, produciéndose socavación del fondo del cauce en el sector contraído.

4. Socavación local en los estribos: junto a los estribos del puente se genera turbulencia, la cual produce erosión adicional y disminuye localmente el nivel del fondo del cauce junto al estribo. Los vórtices junto a los estribos forman fosas profundas de erosión especialmente en los extremos del estribo junto al sitio de estrechamiento del cauce. Esta socavación debe adicionarse a la profundidad de socavación producto de la contracción de la sección del cauce.

5. Socavación local en pilas: en las pilas dentro del cauce se producen remolinos de turbulencia, los cuales hacen que el nivel del río descienda especialmente junto a estas

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	49 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

estructuras. Alrededor de las pilas se forma una fosa profunda por socavación, producida por un sistema de vórtices generados por la interferencia que la pila causa al flujo.

6. Inestabilidad geomorfológica de la corriente: la movilidad lateral de la corriente modifica necesariamente los niveles del fondo del cauce en los sitios específicos.

Debe tenerse en cuenta que para determinados caudales se puede producir acorazamiento del fondo del cauce, disminuyéndose aparentemente la socavación, pero estos acorazamientos pueden desaparecer al presentarse caudales mayores y la socavación puede ser muy cercana a la calculada por medio de métodos matemáticos (ecuaciones o fórmulas).

5.2 SOCAVACION GENERAL

La socavación general se puede producir por varias causas:

1. Aumento del caudal durante las avenidas.
2. Incremento de la pendiente del cauce por alteración del canal, o corte de meandros.
3. Remoción de sedimentos del flujo por la construcción de una presa o por extracción de materiales del fondo del cauce.
4. Transferencia de agua de una cuenca a otra, la cual altera la capacidad de transporte de sedimentos de ambas corrientes.
5. Disminución de la rugosidad del cauce por obras de regulación del canal.


La socavación general se define como el descenso del fondo de un río cuando se presenta una avenida, debido a la mayor capacidad que tiene la corriente de transportar partículas en suspensión; partículas que toma del fondo del cauce. Al aumentar la velocidad de la corriente, aumenta su capacidad de transporte por lo que erosiona el fondo, al erosionar aumenta el área de la sección y disminuye la velocidad hasta que ya no es capaz de erosionar más. La socavación puede ocurrir a todo lo largo y ancho del cauce durante el paso de una avenida. Los niveles de socavación general varían de acuerdo a los caudales y la profundidad de socavación no es la misma en toda la sección.

5.2.1 Cálculo de la Socavación General por Contracción

La evaluación de socavación general por contracción para el sitio del puente se realiza para la hipótesis “live – bed”, es decir, que el flujo incidente se supone transporta carga de sedimento. El presente análisis constituye primordialmente un indicativo de la capacidad erosiva del régimen de flujo ocasionado por la intervención del cauce mediante la estructura hidráulica.

El modelo a estudiar en el análisis de socavación general por contracción corresponde al Método de Laursen Modificado, publicado en el Boletín HEC – 18.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	50 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

$$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{6/7} \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^{k_1}$$

$$y_s = y_2 - y_0$$

Donde:

Q_1 = Caudal en la sección aguas arriba, en m³/s.

Q_2 = Caudal en la sección contraída, en m³/s.

W_1 = Ancho de la sección aguas arriba, en m.

W_2 = Ancho de la sección contraída, menos el ancho de las pilas, en m.

y_0 = profundidad promedio de la sección antes de la socavación.

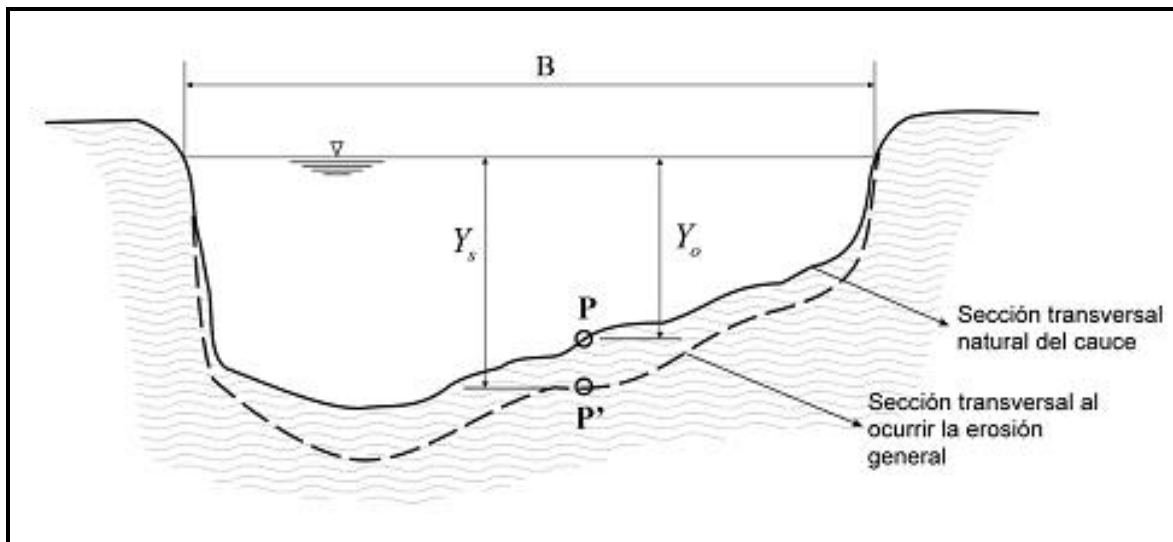
y_2 = profundidad promedio de equilibrio en la sección socavada.

k_1 = coeficiente que depende del modo de transporte de sedimentos.

y_s = profundidad de socavación.


En la Figura No. 15 se observa la definición de Variables para el cálculo de la socavación general.

Figura No. 15. Socavación General – Definición de Variables



FUENTE: MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS. INVÍAS 2009.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	51 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

5.2.2 Socavación Local en Estribos

El efecto de socavación local, en este caso, corresponde al generado alrededor de estructuras tales como estribos de puente, el modelo de análisis a utilizar corresponde a la ecuación desarrollada por el Dr. David Froehlich, la cual se presenta a continuación:

$$y_s = 2.27 K_1 K_2 (L')^{0.43} y_a^{0.57} F_r^{0.61} + y_a$$

Siendo,

y_s = profundidad de socavación, en m.

K_1 = factor de corrección por forma del estribo.

K_2 = factor de corrección por ángulo de incidencia (θ) del flujo con el estribo.

$\theta = 90^\circ$ cuando el flujo es perpendicular a los estribos.

$\theta < 90^\circ$ para puntos del estribo aguas abajo.

$\theta > 90^\circ$ para puntos del estribo aguas arriba.

L' = Longitud del estribo proyectada normal al flujo.

y_a = profundidad de flujo promedio en la llanura de inundación para una sección cercana.

F_r = Numero de Fraude para el flujo de la llanura de inundación en una sección cercana,


$$F_r = V_e / \sqrt{g \times y_a}$$

Q_e = flujo obstruido por los estribos y el terraplén de aproximación en una sección cercana, en m³/s.

A_e = Área de flujo obstruida por los estribos y el terraplén de aproximación en una sección cercana, en m².

$V_e = Q_e/A_e$, en m/s.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	52 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

6. MEMORIA DE CÁLCULO

Debido a la incertidumbre en las características granulométricas en el transporte de sedimentos durante las épocas de máxima creciente o precipitación, de acuerdo con las observaciones hechas en campo y la realización de la exploración geotécnica, se adoptó como rango de variación de los sedimentos de fondo entre 2μ y 50 mm (coloides a arenas gruesas) y como diámetro característico el valor de 0,007 m (7 mm).

El desarrollo de la evaluación hidráulica para el tramo del caño en estudio comprende la calibración y determinación de parámetros hidráulicos mediante el Modelo y Software HEC – RAS 5.0.7. Para estimar las características de flujo se procede a calibrar las secciones transversales con las que se realiza el cálculo de la socavación para el puente.

A partir de la Ecuación de Rugosidad Manning y de la Tabla No. 14 se estimó en 0,054 para la condición de aguas normales o canal principal (nivel observado) y de 0,064 para las condiciones de máxima creciente.

La condición geométrica de la sección se obtuvo del levantamiento topográfico realizado para estimar los valores de área (A), perímetro mojado (P) y radio hidráulico (R).

Los caudales máximos en el sitio de ponteadero para un periodo de retorno específico son los que se presentan en la Tabla No. 13.

6.1 EVALUACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO

Definido el modelo geométrico del cauce (a partir de secciones transversales), asignados los coeficientes de Manning tanto para el canal principal como para las bancas, habiendo suministrado datos de caudal y establecidas las condiciones de frontera apropiadas aguas arriba y aguas abajo del tramo en estudio, el programa HEC – RAS 5.0.7, permite desarrollar la simulación.

La Figura No. 16, presenta un esquema en planta del modelo hidráulico donde se identifican el tramo del Caño La Toma, las secciones transversales y la obra proyectada (box culvert).

A continuación, se presenta la evaluación hidráulica de las secciones próximas al box culvert para el periodo de retorno de 25 años, a partir de los resultados del análisis de estas secciones se realizará la evaluación de la socavación para el diseño de box culvert.

Las secciones topográficas analizadas para elaborar el modelo hidráulico mediante el software HEC – RAS 5.0.7 del box culvert, corresponden a 0 + 008 y 0 + 010; la sección 0 + 009 corresponde al eje del box culvert proyectado.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	53 de 70


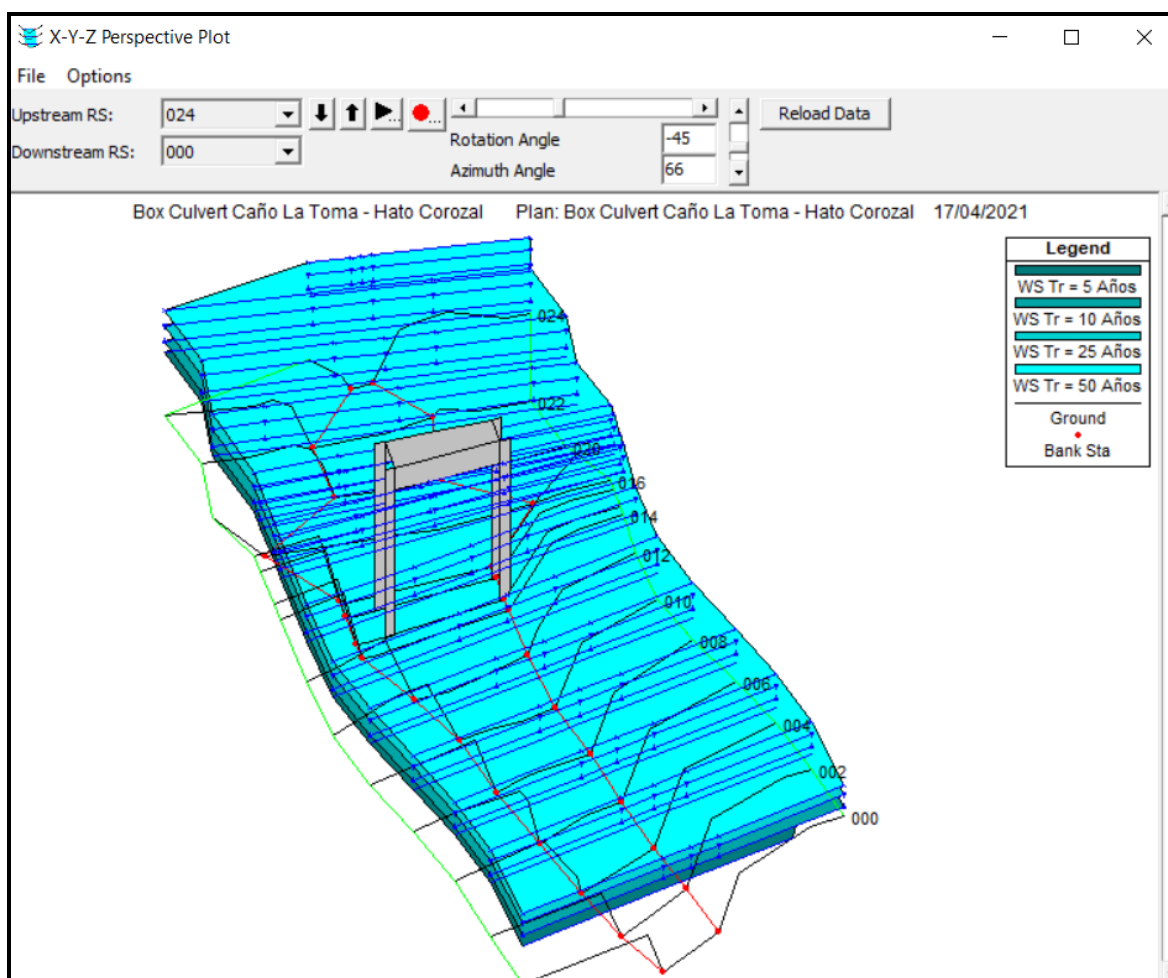
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 16. Modelo Hidráulico Box Culvert Caño La Toma



FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

En las Tablas No. 15 a No. 18 y en las Figuras No. 17 a No. 20, se presenta el análisis y modelo hidráulico y en las Figuras No. 21 y No. 22 se observa el perfil longitudinal de flujo y el perfil de velocidades para el box culvert sobre el Caño La Toma en la Carrera 1 con Diagonal 12 del Municipio de Hato Corozal.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	54 de 70


 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p align="center">PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:		ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL
	ESTUDIO:		HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Tabla No. 15. Parámetros Hidráulicos Sección Transversal 0 + 008, Aguas Arriba

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	Caño La Toma	Profile:	Tr = 25 Años		
Reach:	Box Culvert	RS:	016	Plan:	Box Culvert
Plan: Box Culvert Caño La Toma Box Culvert RS: 016 Profile: Tr = 25 Años					
E.G. Elev (m)	247.76	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.	0.064	0.054	0.064
W.S. Elev (m)	247.68	Reach Len. (m)	0.50	0.50	0.50
Crit W.S. (m)	247.31	Flow Area (m2)	2.22	4.80	1.50
E.G. Slope (m/m)	0.004332	Area (m2)	2.22	4.80	1.50
Q Total (m3/s)	8.80	Flow (m3/s)	1.54	6.34	0.92
Top Width (m)	10.00	Top Width (m)	3.36	4.26	2.38
Vel Total (m/s)	1.03	Avg. Vel. (m/s)	0.70	1.32	0.61
Max Chl Dpth (m)	1.16	Hydr. Depth (m)	0.66	1.13	0.63
Conv. Total (m3/s)	133.7	Conv. (m3/s)	23.4	96.3	14.0
Length Wtd. (m)	0.50	Wetted Per. (m)	3.99	4.26	3.26
Min Ch El (m)	246.52	Shear (N/m2)	23.62	47.86	19.57
Alpha	1.29	Stream Power (N/m s)	16.42	63.17	12.00
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)	0.03	0.05	0.03
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.06	0.05	0.06

FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	55 de 70


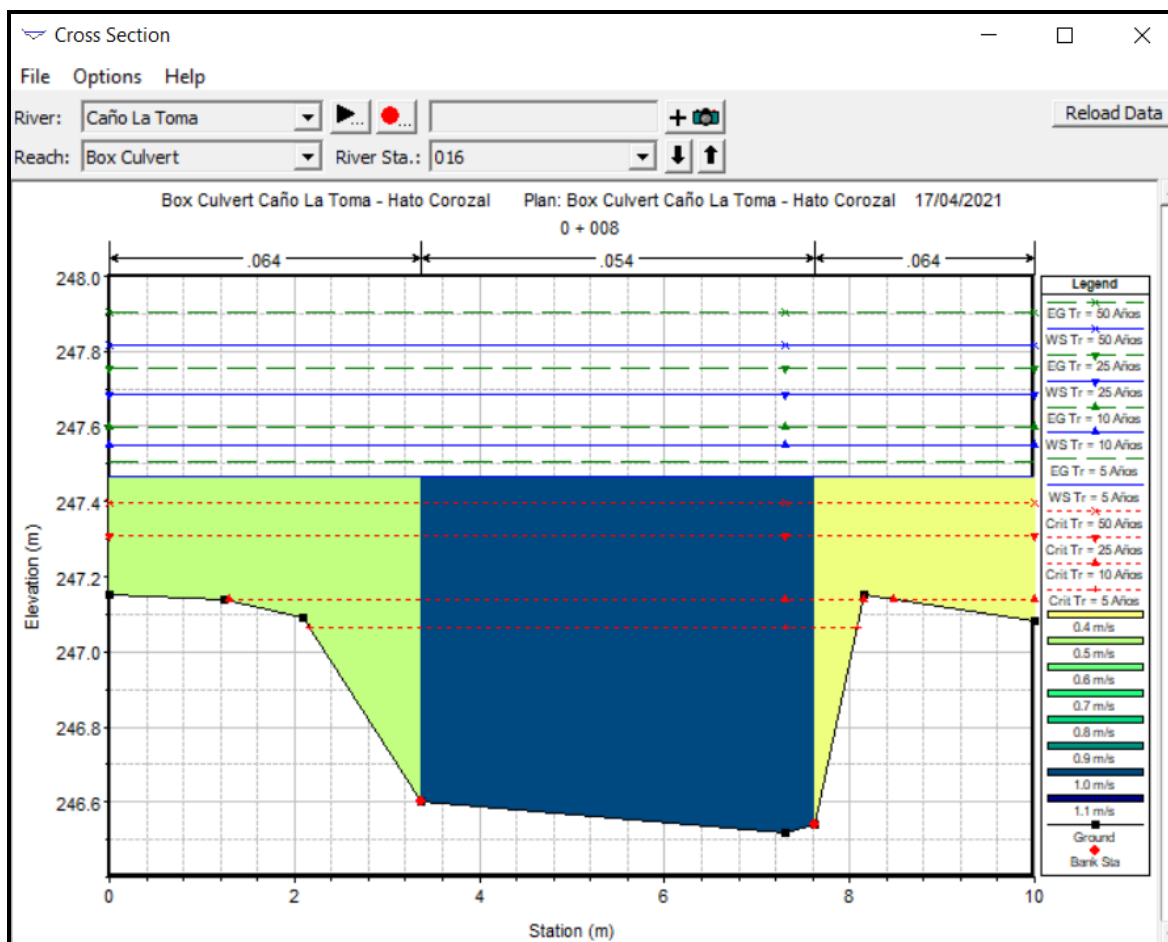
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 17. Modelo Hidráulico Sección Transversal 0 + 008, Aguas Arriba



FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	56 de 70


 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Tabla No. 16. Parámetros Hidráulicos Sección Transversal 0 + 009, BR U Aguas Arriba

Plan: Box Culvert Caño La Toma Box Culvert RS: 015 BR U Profile: Tr = 25 Años					
E.G. Elev (m)	247.75	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.	0.064	0.054	0.064
W.S. Elev (m)	247.68	Reach Len. (m)	1.00	1.00	1.00
Crit W.S. (m)	247.34	Flow Area (m2)	2.04	4.29	1.49
E.G. Slope (m/m)	0.010019	Area (m2)	2.04	4.29	1.49
Q Total (m3/s)	8.80	Flow (m3/s)	1.79	5.63	1.39
Top Width (m)	9.40	Top Width (m)	3.20	3.82	2.38
Vel Total (m/s)	1.13	Avg. Vel. (m/s)	0.88	1.31	0.93
Max Chl Dpth (m)	1.14	Hydr. Depth (m)	0.64	1.12	0.63
Conv. Total (m3/s)	87.9	Conv. (m3/s)	17.9	56.2	13.9
Length Wtd. (m)	1.00	Wetted Per. (m)	4.83	7.20	3.26
Min Ch El (m)	246.54	Shear (N/m2)	41.39	58.51	45.01
Alpha	1.10	Stream Power (N/m s)	36.38	76.77	41.83
Frctn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)	0.03	0.05	0.03
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.05	0.04	0.06

FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	57 de 70


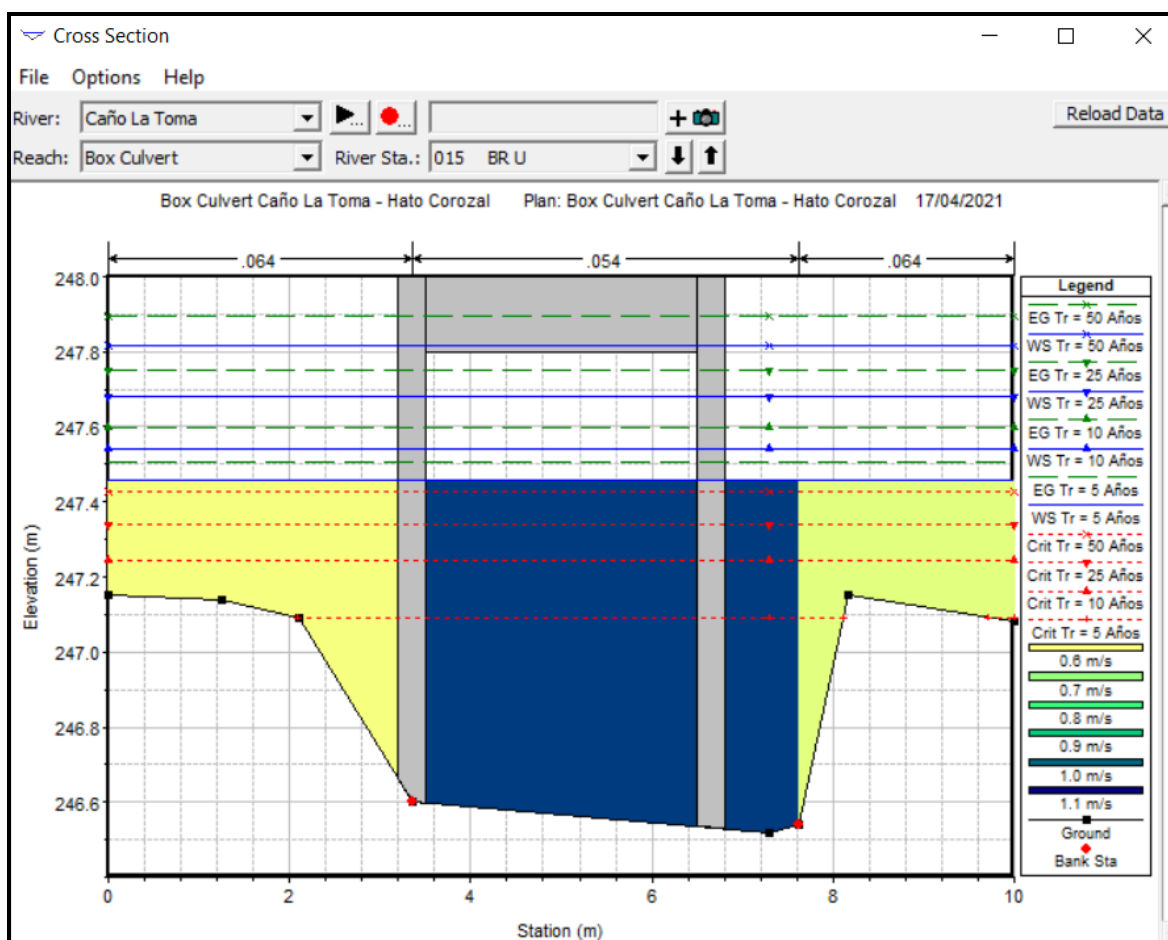
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 - 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 18. Modelo Hidráulico Sección Transversal 0 + 009 BR U, Aguas Arriba



FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	58 de 70


 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Tabla No. 17. Parámetros Hidráulicos Sección Transversal 0 + 009, BR D Aguas Abajo

Plan: Box Culvert Caño La Toma Box Culvert RS: 015 BR D Profile: Tr = 25 Años					
E.G. Elev (m)	247.74	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.	0.064	0.054	0.064
W.S. Elev (m)	247.67	Reach Len. (m)	0.50	0.50	0.50
Crit W.S. (m)	247.34	Flow Area (m2)	1.99	4.24	1.46
E.G. Slope (m/m)	0.010453	Area (m2)	1.99	4.24	1.46
Q Total (m3/s)	8.80	Flow (m3/s)	1.77	5.66	1.37
Top Width (m)	9.40	Top Width (m)	3.20	3.82	2.38
Vel Total (m/s)	1.14	Avg. Vel. (m/s)	0.89	1.33	0.94
Max Chl Dpth (m)	1.13	Hydr. Depth (m)	0.62	1.11	0.61
Conv. Total (m3/s)	86.1	Conv. (m3/s)	17.3	55.3	13.4
Length Wtd. (m)	0.50	Wetted Per. (m)	4.81	7.16	3.24
Min Ch El (m)	246.54	Shear (N/m2)	42.53	60.67	46.17
Alpha	1.10	Stream Power (N/m s)	37.80	80.97	43.34
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)	0.03	0.04	0.03
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.05	0.04	0.05

FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	59 de 70


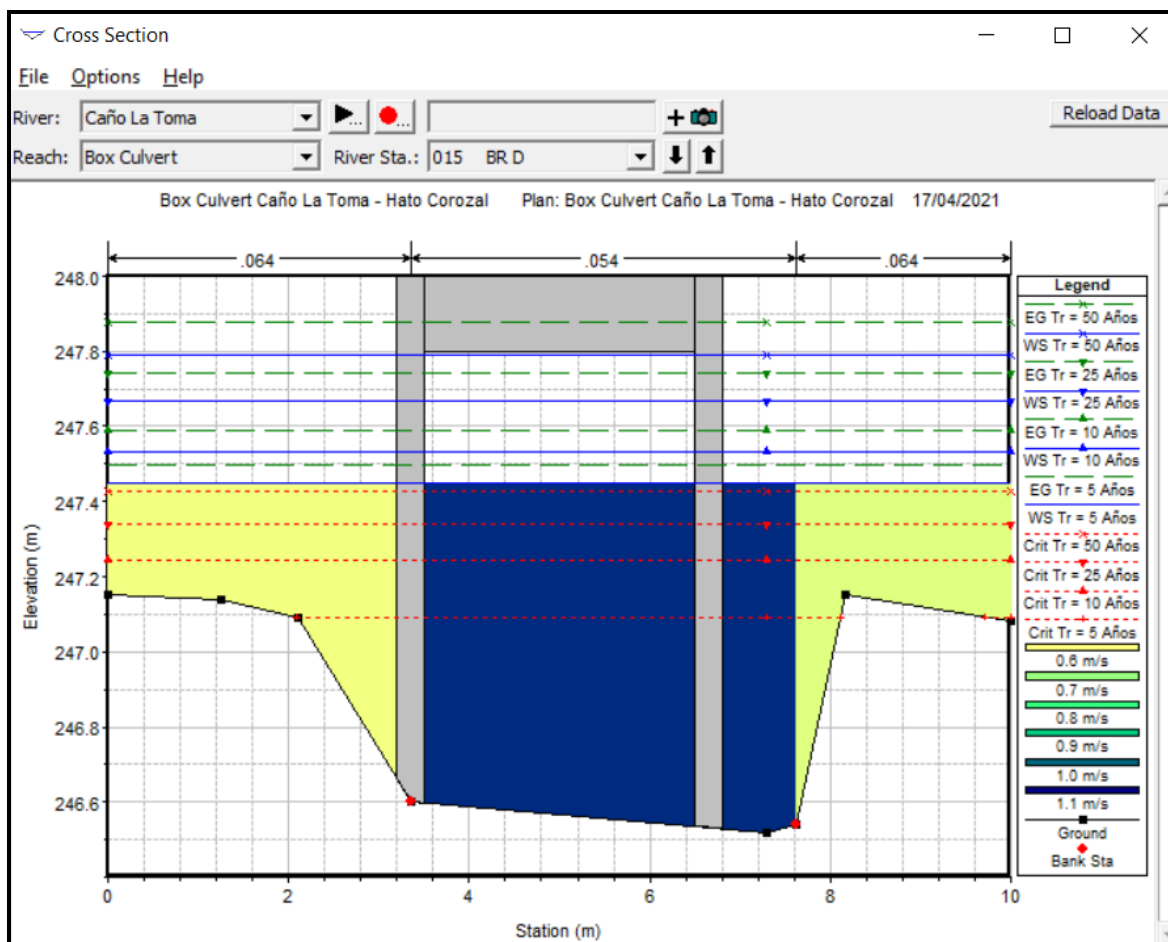
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 - 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 19. Modelo Hidráulico Sección Transversal 0 + 009 BR D, Aguas Abajo



FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	60 de 70


 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Tabla No. 18. Parámetros Hidráulicos Sección Transversal 0 + 010, Aguas Abajo

Plan: Box Culvert Caño La Toma Box Culvert RS: 014 Profile: Tr = 25 Años					
E.G. Elev (m)	247.74	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.	0.064	0.054	0.064
W.S. Elev (m)	247.66	Reach Len. (m)	2.00	2.00	2.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	2.15	4.71	1.45
E.G. Slope (m/m)	0.004666	Area (m2)	2.15	4.71	1.45
Q Total (m3/s)	8.80	Flow (m3/s)	1.52	6.37	0.91
Top Width (m)	10.00	Top Width (m)	3.36	4.26	2.38
Vel Total (m/s)	1.06	Avg. Vel. (m/s)	0.71	1.35	0.62
Max Chl Dpth (m)	1.14	Hydr. Depth (m)	0.64	1.11	0.61
Conv. Total (m3/s)	128.8	Conv. (m3/s)	22.3	93.3	13.3
Length Wtd. (m)	2.00	Wetted Per. (m)	3.97	4.26	3.24
Min Ch El (m)	246.52	Shear (N/m2)	24.76	50.59	20.50
Alpha	1.29	Stream Power (N/m s)	17.54	68.42	12.81
Frctn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)	0.02	0.04	0.03
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.05	0.04	0.05

FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	61 de 70


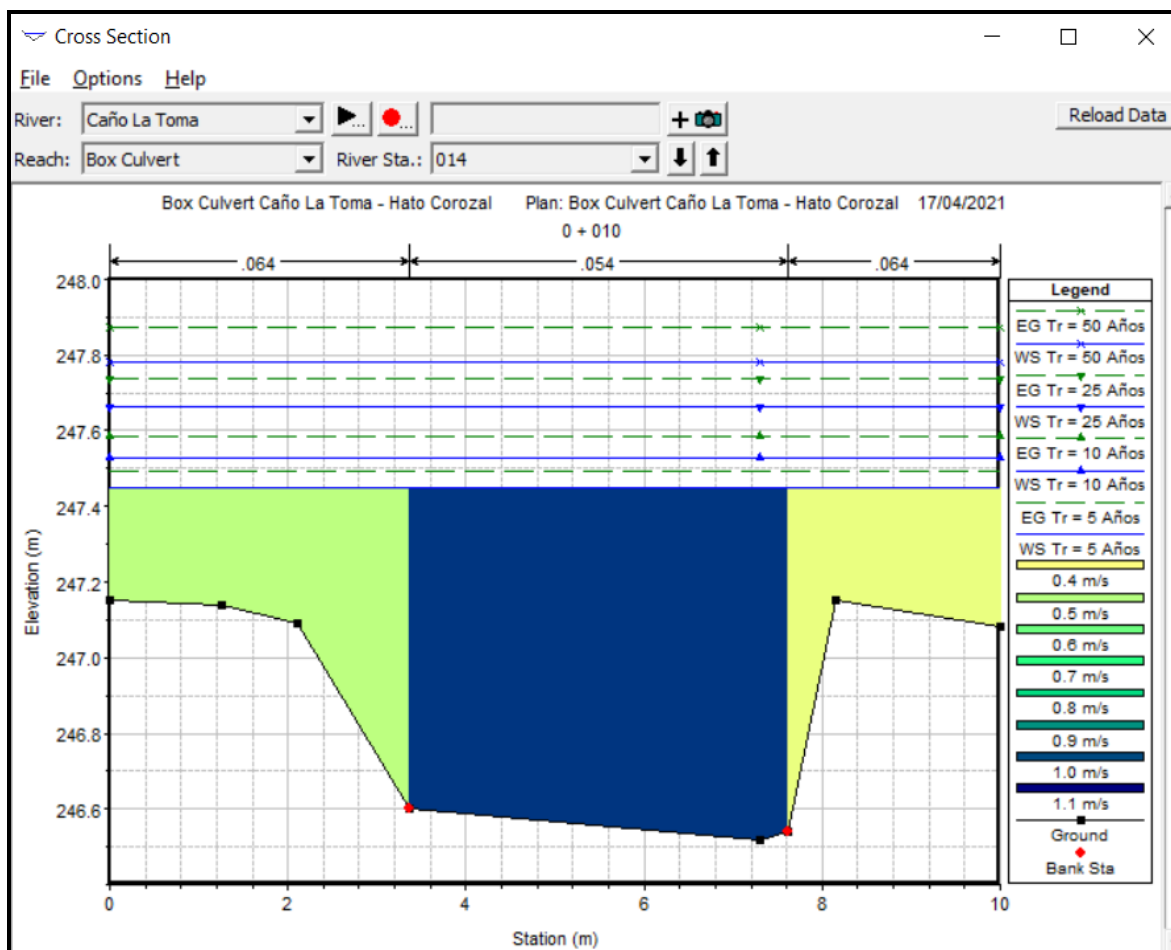
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 20. Modelo Hidráulico Sección Transversal 0 + 010, Aguas Abajo




FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

6.2 EVALUACION DE SOCAVACIÓN

De acuerdo con la Tabla No. 11 se observa que el periodo de retorno de diseño es de 25 años puesto que el box culvert proyectado posee una luz menor a 10 m.

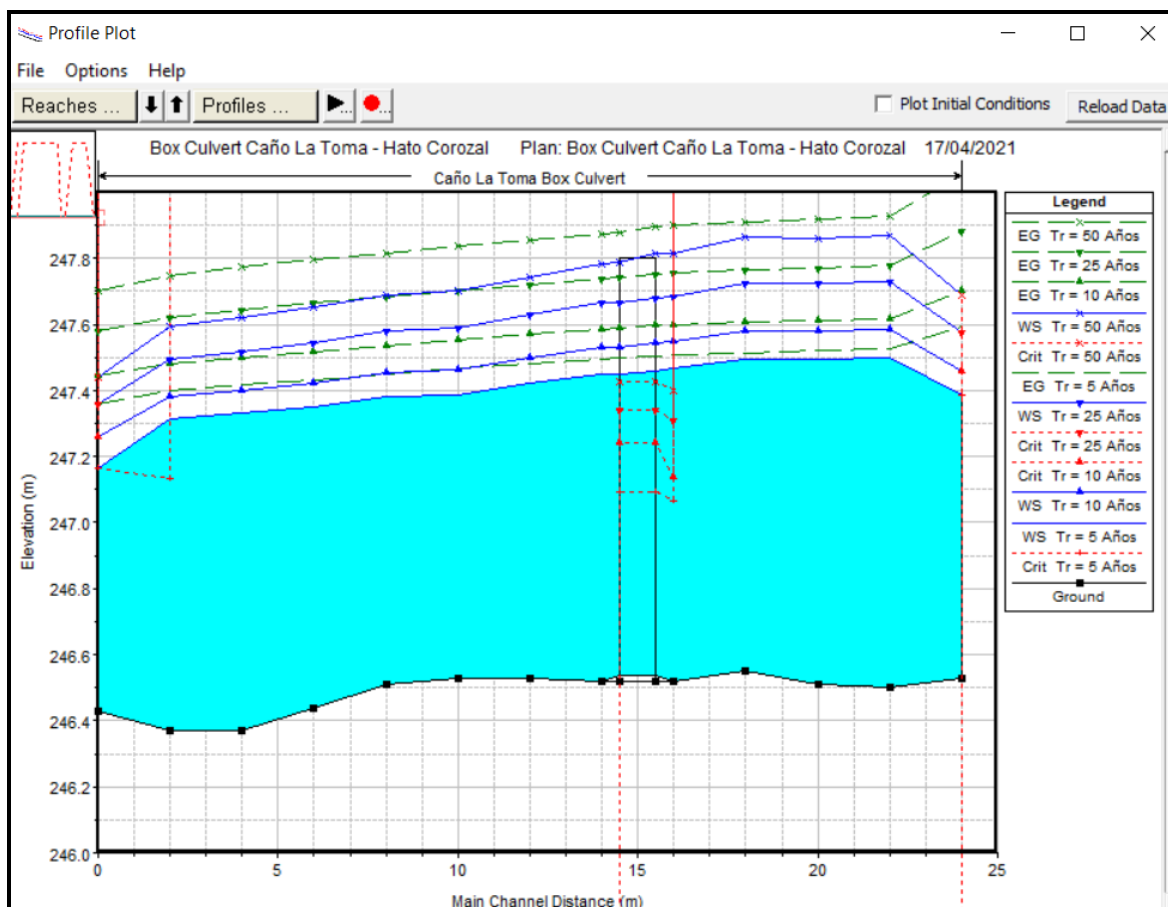
A partir de los parámetros hallados mediante el modelo hidráulico y especificando las características de forma para los estribos, junto con el tamaño de partícula característico para el material de fondo, utilizando la rutina de diseño con el modelo hidráulico HEC – RAS 5.0.7, se evalúan los efectos de socavación general por contracción y local en los estribos derivados de la intervención del cauce.

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	62 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

En la Figura No. 23 y Tabla No. 19, se presenta esquemáticamente los resultados del cálculo de socavación para el periodo de retorno de 25 años.

Figura No. 21. Perfil Longitudinal del Flujo



FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	63 de 70


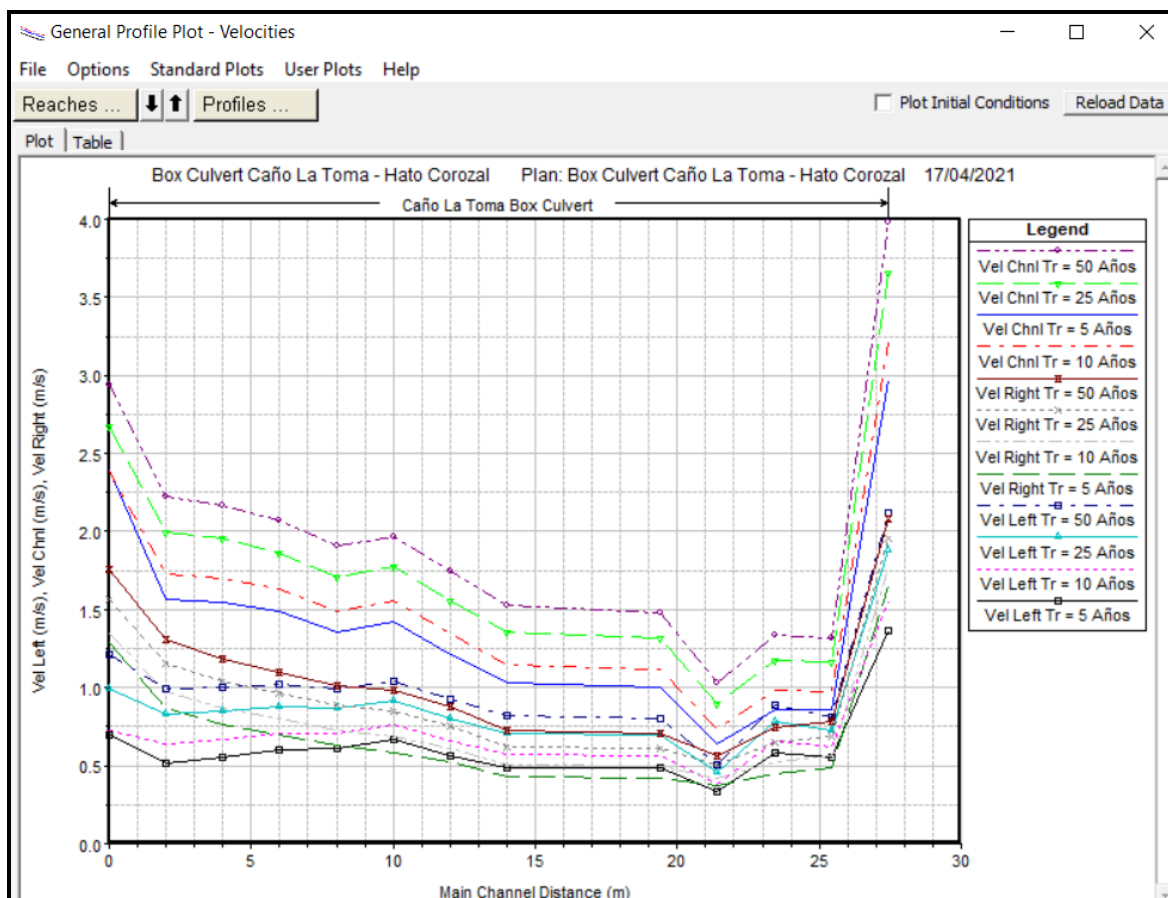
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 - 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 22. Perfil de Velocidades



FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	64 de 70


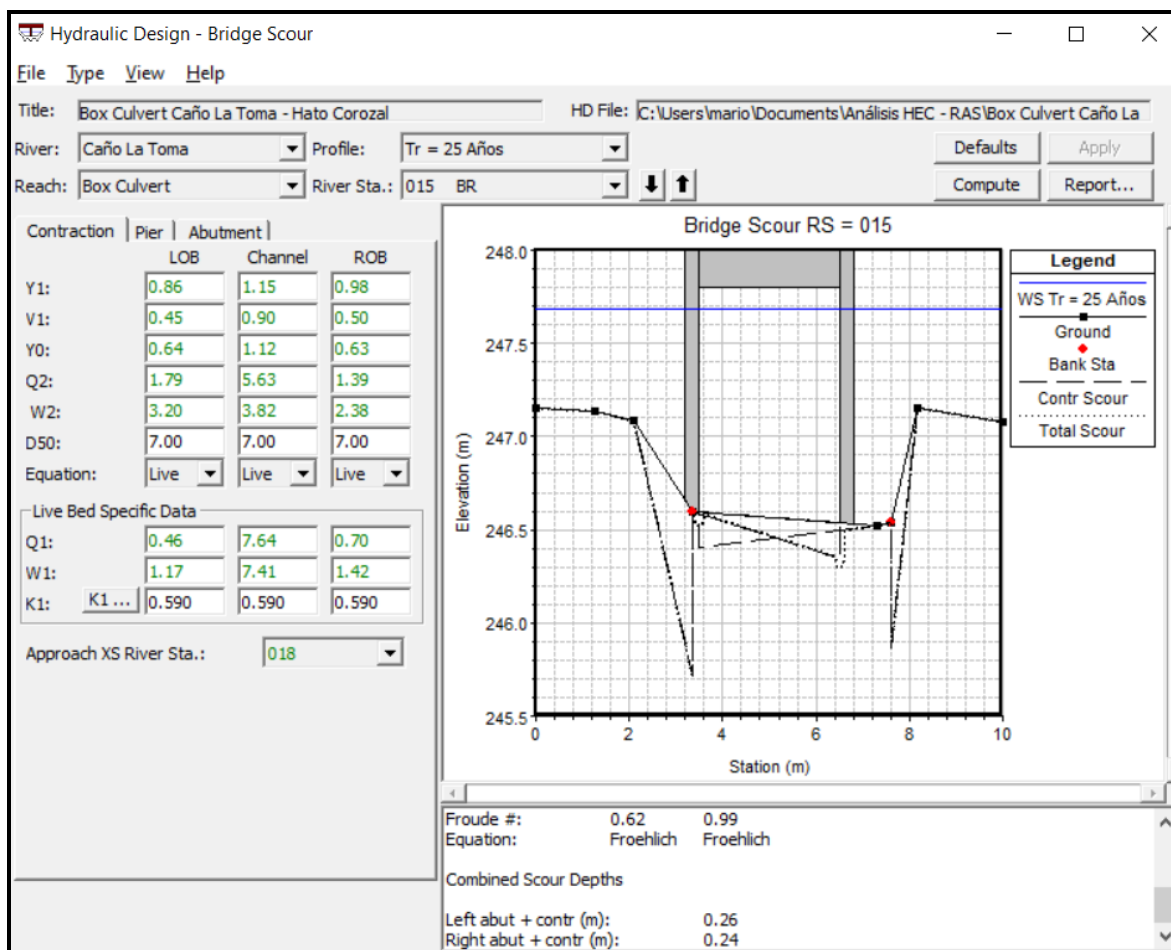
 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

Figura No. 23. Resultados Cálculo Socavación Periodo de Retorno Tr = 25 Años



FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL


De la Figura No. 23 se observa que el box culvert queda localizado dentro de la zona hidráulica activa del Caño La Toma para el periodo de retorno de diseño de 25 años, por lo tanto, la profundidad de socavación que se produce es de 0,25 m en promedio.

6.3 RESULTADOS MODELACIÓN HIDRÁULICA BOX CULVERT

Los resultados de la modelación hidráulica para el box culvert diseñado, se resumen a continuación.


- Espesor Lámina de Agua = 1,61 m

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	65 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

- Nivel Lámina de Agua = 247,68 msnm

Tabla No. 19. Análisis Socavación Periodo de Retorno $T_r = 25$ Años


Hydraulic Design Data

Contraction Scour			
	Left	Channel	Right
Input Data			
Average Depth (m):	0.86	1.15	0.98
Approach Velocity (m/s):	0.45	0.90	0.50
Br Average Depth (m):	0.64	1.12	0.63
BR Opening Flow (m3/s):	1.79	5.63	1.39
BR Top WD (m):	3.20	3.82	2.38
Grain Size D50 (mm):	7.00	7.00	7.00
Approach Flow (m3/s):	0.46	7.64	0.70
Approach Top WD (m):	1.17	7.41	1.42
K1 Coefficient:	0.590	0.590	0.590
Results			
Scour Depth Ys (m):	0.88	0.19	0.67
Critical Velocity (m/s):			
Equation:	Live	Live	Live
Abutment Scour			
	Left	Right	
Input Data			
Station at Toe (m):	3.50	6.50	
Toe Sta at appr (m):	1.31	7.46	
Abutment Length (m):	1.31	2.54	
Depth at Toe (m):	1.09	1.15	
K1 Shape Coef:	0.55 - Spill-through abutment		
Degree of Skew (degrees):	0.00	0.00	
K2 Skew Coef:	0.00	0.00	
Projected Length L' (m):	0.01	0.02	
Avg Depth Obstructed Ya (m):	0.07	0.05	
Flow Obstructed Qe (m3/s):	0.60	1.85	
Area Obstructed Ae (m2):	1.17	2.67	
Results			
Scour Depth Ys (m):	0.07	0.05	
Qe/Ae = Ve:	0.51	0.69	
Froude #:	0.62	0.99	
Equation:	Froehlich	Froehlich	
Combined Scour Depths			
Left abutment scour + contraction scour (m):	0.26		
Right abutment scour + contraction scour (m):	0.24		


FUENTE: MODELO HIDRÁULICO HEC – RAS 5.0.7 CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA – MUNICIPIO DE HATO COROZAL

- Velocidad del Flujo Aguas Arriba (Entrada) = 0,87 m/s

- Velocidad del Flujo Aguas Abajo (Salida) = 0,89 m/s

Del análisis realizado se determina que el box culvert modelado funciona y es suficiente para drenar el caudal de diseño para el periodo de retorno de 25 años. Se recomienda la

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	66 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

construcción del box culvert proyectado entre las abscisas km 0 + 008 y km 0 + 010 (según Levantamiento Topográfico) con la siguiente sección hidráulica interna.

Ancho = 3,0 m (sección hidráulica libre)

Cota Placa Inferior = 246,57 msnm

Cota Placa Superior = 248,07 msnm

Altura = 2,0 m

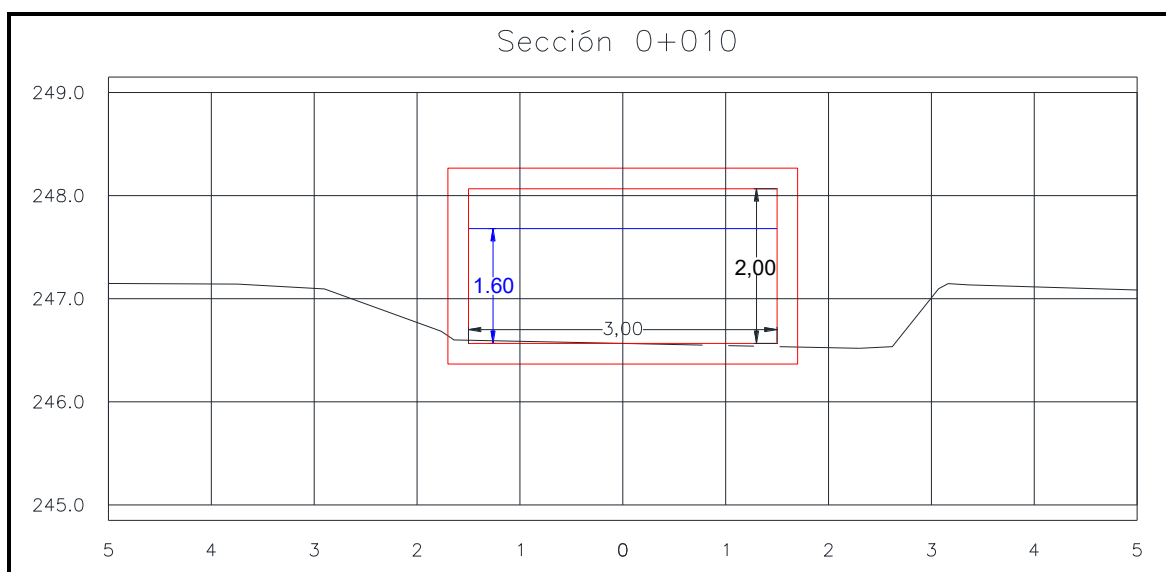
Longitud = 6,0 m (mínimo, o de acuerdo con el ancho de la vía en esa abscisa)

Nivel Lámina de Agua = 247,68 msnm

Espesor Lámina de Agua para el Caudal de Diseño = 1,61 m

En la Figura No. 24 se observa la ubicación recomendada del box culvert en la sección transversal km 0 + 010 del levantamiento topográfico.


Figura No. 24. Ubicación Box Culvert Sección Transversal 0 + 010 del Levantamiento Topográfico



FUENTE: RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO

En el Anexo No. 5 se presenta los Resultados del Modelo Hidráulico del box culvert proyectado con el Software HEC – RAS 5.0.7.


INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	67 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Para dar una correcta interpretación y aplicabilidad al estudio hidrológico, hidráulico y de socavación, este debe ser contemplado en su totalidad sin limitaciones a los capítulos de conclusiones y recomendaciones.
2. De acuerdo con la ubicación geográfica de la cuenca del Caño La Toma en el Municipio de Hato Corozal, se determinó que la Estación Santa Inés localizada en el Municipio de Tame es representativa para el desarrollo de la evaluación hidrológica.
3. El análisis hidrológico para la cuenca del Caño La Toma hasta el sitio de construcción del box culvert se realizó por medio del Software HEC – HMS 4.3, obteniéndose como resultado un caudal de 8,80 m³/s para el periodo de retorno de 25 años.
4. A partir de la modelación hidráulica del box culvert sobre el Caño La Toma por medio del Software HEC – RAS 5.0.7 (con base en el levantamiento topográfico del sitio de ponteadero), se obtuvo que el espesor de la lámina de agua es de 1,11 m y se localiza en la cota 247,68 msnm para el periodo de retorno de 25 años.
5. Se adoptó como rango de variación de los sedimentos de fondo del cauce para el cálculo de la socavación el valor de 0,007 m (7 mm) como diámetro característico.
6. De acuerdo con las características topográficas y del material de suelo que conforma las márgenes del Caño La Toma, y teniendo en cuenta los procesos erosivos que se pueden generar en el sitio de ponteadero, se recomienda que la sección hidráulica libre (dimensiones internas) sea de 3,0 m de ancho y 2,00 m de alto.
7. De acuerdo con los resultados del análisis de socavación y en consideración del régimen de flujo desarrollado por la corriente, se establece el nivel de cimentación para la placa de fondo del box culvert en la cota 246,57 msnm.
8. Se concluye que el nivel de socavación por contracción producida en el centro del canal del Caño La Toma en el sitio de ponteadero, no representa complicación ni afecta a los taludes del cauce, por lo que la cimentación para el box culvert no se verá afectada por dicho valor de socavación por contracción.
9. Dadas las características geológicas de los materiales presentes en el sitio de ponteadero, se establece que ofrecen buenas condiciones de estabilidad del cauce por lo que el sitio de construcción del box culvert proyectado es adecuado.
10. Del análisis multitemporal se observa que el cauce ha permanecido sin mayores alteraciones en los últimos 10 años, por lo que se establece que no se presentarán

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	68 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

variaciones considerables en la estabilidad del cauce en cuanto a migraciones del mismo y procesos erosivos intensos (socavación lateral y de fondo).


Yopal, marzo de 2021

Atentamente,



MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA
INGENIERO GEÓLOGO – U. P. T. C.
M. P. 15223099757 BYC

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	69 de 70

 <p>MARIO ALEXANDER HURTADO BAYONA INGENIERO GEÓLOGO CONSULTORÍA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA NIT. 4277940 – 2</p>	<p>PROYECTO: CONSTRUCCIÓN BOX CULVERT EN LA CARRERA 1 CON DIAGONAL 12 SOBRE EL CAÑO LA TOMA MUNICIPIO DE HATO COROZAL, CASANARE</p>		
	SOLICITÓ:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE HATO COROZAL	
	ESTUDIO:	HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN	
	FECHA:	MARZO DE 2021	VERSIÓN: 0

BIBLIOGRAFÍA

1. MONSALVE SÁENZ, GERMÁN; Hidrología en la Ingeniería; Departamento de Publicaciones Escuela Colombiana de Ingeniería; Bogotá, 1998.
2. VEN TE CHOW, MAIDMENT D., MAYS L.; Hidrología Aplicada; Editorial McGraw-Hill; New York, 1994.
3. US ARMY CORPS OF ENGINEERS, HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER; HEC-HMS, Technical Reference Manual; March 2000.
4. MUÑOZ CARPENA, RAFAEL; Hidrología Agrícola; carpena@icia.es
5. THE HYDRAULICS BRANCH, BRIDGE DIVISIÓN OFFICE OF THE ENGINEERING AND OPERATIONS BEREAU OF PUBLIC ROADS; Hydraulics of Bridge Waterways; Hydraulic Desing Series No. 1; Washintong.
6. US ARMY CORPS OF ENGINEERS, HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER; HEC-RAS, Technical Reference Manual; January 2001
7. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION; Evaluating Scour At Bridges, Hydraulic Engineering Circular No. 18; Publication No. FHWA NHI 01-001; May 2001
8. MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES; Comisión Federal de Electricidad; Vol. A.2.11. Hidráulica Fluvial, Méjico, 1981.
9. ESTADÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE COLOMBIA 1990-1993, IDEAM, Tomo II
10. CONTROL DE LA EROSION EN ZONAS TROPICALES; Suárez Díaz, Jaime. Universidad Industrial de Santander.
11. GAVIONES EN MALLA HEXAGONAL DE TRIPLE TORSIÓN. Tecniacero Ltda.
12. DISEÑO DE ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE CONTENCIÓN. Sociedad Colombiana de Ingenieros.
13. MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS. INVÍAS 2009.
14. MAPA GEOLÓGICO PLANCHA 124 – ARAUQUITA. INGEOMINAS 2011
15. GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 124 – ARAUQUITA, INGEOMINAS 2011
16. MAPA GEOLÓGICO DE LA PLANCHA 154 – HATO COROZAL. CONSORCIO GSG (GEOMINAS – SERVIMINAS – GEMI) 2015
17. MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA PLANCHA 154 – HATO COROZAL. SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO 2015

INFORME:	DIRECCIÓN	E – MAIL:	CELULAR:	PÁGINA:
FINAL	CALLE 14 No. 19 – 62 YOPAL – CASANARE	mariogeologo@hotmail.com	317 7475404 320 2164980	70 de 70