



El futuro  
es de todos

Agencia de  
Renovación  
del Territorio

FACTIBILIDAD  
MUNICIPIO DE  
TARAZA –  
CORREGIMIENTO DE  
GUAIMARO.

CONSORCIO  
TERRITORIAL 2019



CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHÍCULAR SOBRE LA QUEBRADA  
URALES EN LA VÍA QUE CONDUCE DEL MUNICIPIO DE TARAZÁ A EL  
CORREGIMIENTO EL GUAIMARO, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.

VOLUMEN VIII – ESTUDIO DE SOCAVACIÓN

Diciembre de 2019

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	<b>ESTUDIO DE SOCAVACIÓN          PROYECTO TARAZÁ –          CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.</b>		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL</b> 2019 <small>DIT No. 901.003.023-5</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: Dic. 2019	

### DESTINATARIOS

DESTINATARIO	COPIA DIGITAL	COPIA IMPRESA
AGENCIA DE RENOVACIÓN DEL TERRITORIO (ART)	01	01

### EJECUCIÓN, REVISIÓN Y APROBACIÓN


VERSIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA
01		

<b>TÍTULO DEL DOCUMENTO:</b>	ESTUDIO DE SOCAVACIÓN - CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHÍCULAR SOBRE LA QUEBRADA URALES EN LA VÍA QUE CONDUCE DEL MUNICIPIO DE TARAZÁ A EL CORREGIMIENTO EL GUAIMARO, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.			
<b>DOCUMENTO No.:</b>	305790302646			
<b>RESPONSABLES DE LA ELABORACIÓN</b>	<b>Nombres:</b>	Ing. Civil FERNANDO ARRIETA		
	<b>Firma:</b>			
	<b>Matrícula Profesional:</b>	25202-44804CDN		
	<b>Fecha:</b>			
<b>RESPONSABLE POR REVISIÓN, APROBACIÓN Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD</b>	<b>Nombres:</b>	Ing. Civil JOSÉ LARA		
	<b>Firma:</b>			
	<b>Matrícula Profesional:</b>	13202-19729BLV		
	<b>Fecha:</b>			
<b>APROBACIÓN CLIENTE</b>	<b>Fecha</b>	<b>Nombre</b>	<b>Cargo</b>	<b>Firma</b>

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	ESTUDIO DE SOCAVACIÓN PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>WT: No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: Dic. 2019	

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. ALCANCE Y OBJETIVOS .....	7
2.1. ALCANCE .....	7
2.2. OBJETIVO GENERAL .....	7
2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
3. ESTUDIO DE SOCAVACIÓN.....	8
3.1. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA VÍA .....	8
3.1.1. GENERALIDADES.....	8
3.1.2. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	10
3.1.3. UBICACIÓN DE LA VÍA RESPECTO A VÍAS PRINCIPALES .....	11
3.1.4. SECTORIZACIÓN DE LA VÍA A INTERVENIR.....	12
3.2. METODOLOGÍA .....	14
3.2.1. EVALUACIÓN DE SOCAVACIÓN EN PUENTES .....	14
3.2.1.1. Socavación por contracción.....	14
3.2.1.2. Socavación local.....	17
3.2.1.2.1. Socavación local en estribos.....	17
4. ASPECTOS DE SOCAVACIÓN .....	21
4.1. GRANULOMETRÍA DEL LECHO DEL CAUCE.....	21
4.1.1. GRANULOMETRÍA DEL LECHO DE QUEBRADA URALES. ....	21
4.2. EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN DEL PUENTE.....	22
4.2.1. EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN DEL PUENTE SOBRE LA QUEBRADA URALES.....	23
4.3. TIPOS DE OBRAS A EJECUTAR – CANTIDADES DE OBRA .....	25
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	26
6. REFERENCIAS.....	27
7. ANEXOS .....	28
7.1. RESULTADOS DE MODELACIÓN DE SOCAVACIÓN PUENTE QUEBRADA URALES .....	28
7.2. PLANO DE PROTECCIÓN CONTRA LA SOCAVACIÓN PUENTE .....	28



 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	ESTUDIO DE SOCAVACIÓN PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: Dic. 2019	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Quebrada Urales.....	8
Figura 2. Identificación de la zona de la intervención.....	9
Figura 3. Quebrada Urales.....	9
Figura 4. Localización del Proyecto (a) Departamento de Antioquia (b) Municipio de Tarazá.....	10
Figura 5. Corregimiento El Guaimaro y la cabecera municipal.....	11
Figura 6. Identificación de la Red Vial Cercana al Proyecto RUTA 25, TARAZÁ - CAUCASIA.....	12
Figura 7. Sectorización de la Intervención Vial.....	13
Figura 8. Velocidad de caída ( $\omega$ ) para partículas de arena.....	16
Figura 9. Factor de corrección K2 por orientación del estribo.....	19
Figura 10. Curva granulométrica de la Muestra 1 del Sondeo No 1 – Puente Urales.....	21
Figura 11. Socavación de la sección transversal del Puente Urales (TR =100 años).....	23
Figura 12. Resumen datos de entrada para cálculo de socavación por contracción (a), y socavación local en estribos (b) del Puente Urales.....	24

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de inicio y fin de la vía.....	13
Tabla 2. Valores de $K_1$ .....	15
Tabla 3. Factor de corrección por forma de los estribos.....	18
Tabla 4. Resumen de profundidades de socavación en metros (m).....	24
Tabla 5. Obras a Ejecutar.....	25
Tabla 6. Cantidades de obras a ejecutar por diseño de socavación.....	25

	<p>ESTUDIO DE SOCAVACIÓN PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.</p>		
	<p>Contrato: SC 01521 19</p>	<p>Fecha: Dic. 2019</p>	<p>Versión: 01</p>

## 1. INTRODUCCIÓN

El Gobierno Nacional tiene como propósito fundamental trabajar por la paz con base en los principios de legalidad y emprendimiento en aras de obtener estándares de equidad para toda la población nacional. Este ejercicio permitirá superar progresivamente las disparidades y desigualdades existentes, especialmente en los territorios rurales, víctimas del conflicto armado, creando espacios que permitan mejorar la calidad de vida de las personas y generando condiciones de desarrollo económico a través de una agenda de estabilización de territorios en posconflicto.

Es así como se trabaja por fortalecer la presencia del Estado en aquellas regiones donde diversas circunstancias históricas han sido generadoras de violencia y han deteriorado las condiciones de seguridad y de progreso. En este sentido, la implementación de estrategias de intervención en las zonas mencionadas, por parte del Gobierno Nacional, debe estar enfocada en establecer las condiciones óptimas para el desarrollo social y económico sostenible, acelerando la inclusión productiva en las zonas rurales del país a través de la presencia institucional coordinada que permita superar la pobreza.

Con el fin de dar trámite a esta iniciativa, se generaron políticas públicas enfocadas a proteger los derechos humanos, haciendo énfasis en las zonas rurales del país, donde se evidencian las consecuencias del conflicto armado y, por tanto, se requieren procesos de reincorporación y sustitución.

En este contexto, se hace necesario entonces la formulación, implementación y seguimiento de las iniciativas identificadas en cada zona de interés. Para alcanzar este objetivo, se vincula la Agencia de Renovación del territorio (ART) en aras de dar cumplimiento al punto 1 del Acuerdo de Paz con las FARC donde se establece que se debe llevar a cabo una Reforma Rural Integral (RRI), razón por la que se crearon los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET) como herramientas que se utilizarán para atender de forma prioritaria a los territorios más afectados.

El presente documento muestra los estudios de socavación para el proyecto de construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guaimaro, departamento de Antioquia.

Las secciones siguientes del presente informe están organizadas de la siguiente manera:

- El Capítulo 2: Presenta el alcance y los objetivos del estudio.
- El Capítulo 3: Describe la metodología, diagnóstico, y las fuentes de información que permitirán cumplir los objetivos planteados.
- El Capítulo 4: Comprende el estudio de socavación y las diferentes metodologías para el cálculo de la socavación.
- El Capítulo 5: Presenta las conclusiones del estudio y algunas recomendaciones para la ejecución del proyecto.

 <p><b>El futuro es de todos</b>          Agencia de Renovación del Territorio</p>	<p>ESTUDIO DE SOCAVACIÓN          PROYECTO TARAZÁ –          CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.</p>	 <p><b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b>  <small>NTT. No. 901.283.823-6</small></p>	
	<p>Contrato: SC 01521 19</p>	<p>Fecha: Dic. 2019</p>	<p>Versión: 01</p>

- El Capítulo 6: Resume las referencias utilizadas para el análisis técnico y la elaboración del informe.

 <p><b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio</p>	<p>ESTUDIO DE SOCAVACIÓN PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.</p>	 <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019 NIT. No. 901.283.823-6</p>	
	<p>Contrato: SC 01521 19</p>	<p>Fecha: Dic. 2019</p>	<p>Versión: 01</p>

## 2. ALCANCE Y OBJETIVOS

### 2.1. ALCANCE

El presente documento permitirá desarrollar los estudios de socavación para el proyecto de construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guaimaro, departamento de Antioquia, con el fin de mejorar la intercomunicación terrestre en parte del territorio rural del municipio.

### 2.2. OBJETIVO GENERAL

Realizar los estudios correspondientes a el Estudio De Socavación, a nivel de Fase III – Factibilidad, para el proyecto de construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guaimaro, departamento de Antioquia; para el dimensionamiento de la profundidad de socavación en las estructuras propuestas para el mejoramiento del corredor en estudio.

### 2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A continuación, se presentan los objetivos específicos asociados a cada una de las tres áreas que componen el presente informe:

- Recopilación de información de estudios previos a nivel regional o nacional.
- Verificar obras de drenaje y subdrenaje existentes.
- Diseñar estructuras de drenaje necesarias para el manejo de aguas en el corredor propuesto.

### 3. ESTUDIO DE SOCAVACIÓN

#### 3.1. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA VÍA

##### 3.1.1. GENERALIDADES

El presente proyecto consiste en la construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guaimaro, departamento de Antioquia.

La vía en estudio tiene una longitud aproximada de 15.03 kilómetros; actualmente en la zona del proyecto se encuentra el cruce de la quebrada Urales; en esta no se encuentra una obra transversal que comunique el corregimiento del Guaimaro con la cabecera municipal del municipio de Tarazá, dificultando la movilidad, aumentando los tiempos de viajes y haciendo efecto en el incremento de los costos en la economía de las familias.

Figura 1. Quebrada Urales.



*Fuente: Elaboración Propia.*



Figura 2. Identificación de la zona de la intervención.



*Fuente: Elaboración propia.*

Figura 3. Quebrada Urales.



*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.1.2. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Tarazá es un municipio de Colombia, localizado en la subregión del Bajo Cauca del departamento de Antioquia. Limita por el norte con el departamento de Córdoba y el municipio de Cáceres, por el este con el municipio de Cáceres, por el sur con los municipios de Valdivia e Ituango, y por el oeste con el departamento de Córdoba. Su cabecera dista 222 kilómetros de la ciudad de Medellín, capital de Antioquia. El municipio posee una extensión de 1560 kilómetros cuadrados de los cuales 1.2 kilómetros cuadrados corresponden a la cabecera urbana y 1558 kilómetros cuadrados corresponden al área rural. Su territorio está constituido por la cuenca del río Tarazá en cuyas partes altas se tienen sistemas montañosos de hasta 3000 msnm, especialmente en los límites con el departamento de Córdoba, que los define la Serranía de Ayapel y la cuchilla de planadas. El resto del territorio está conformado por las planicies aluviales bajas del río Cauca.

En la siguiente figura se observa la ubicación del departamento de Antioquia con respecto a Colombia, y a su vez, la ubicación del municipio de Tarazá con respecto a Antioquia; posteriormente, se observa la ubicación del corregimiento El Guaimaro con respecto a la cabecera municipal.

Figura 4. Localización del Proyecto (a) Departamento de Antioquia (b) Municipio de Tarazá.

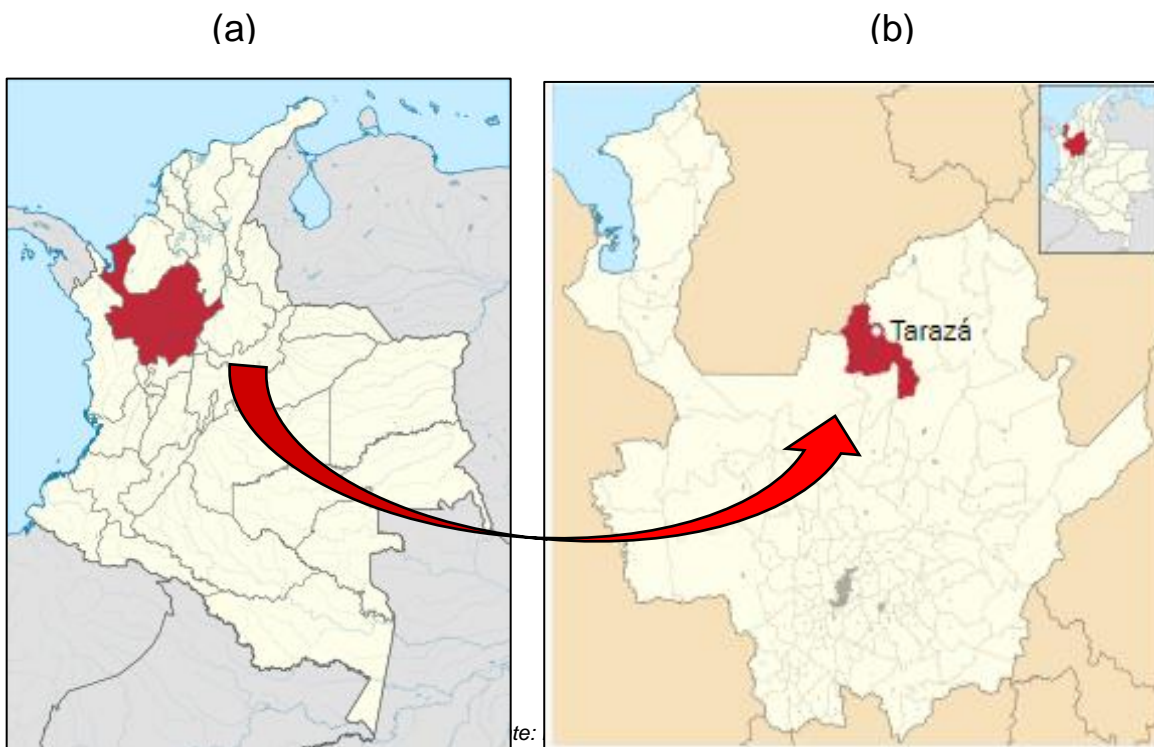


Figura 5. Corregimiento El Guaimaro y la cabecera municipal.

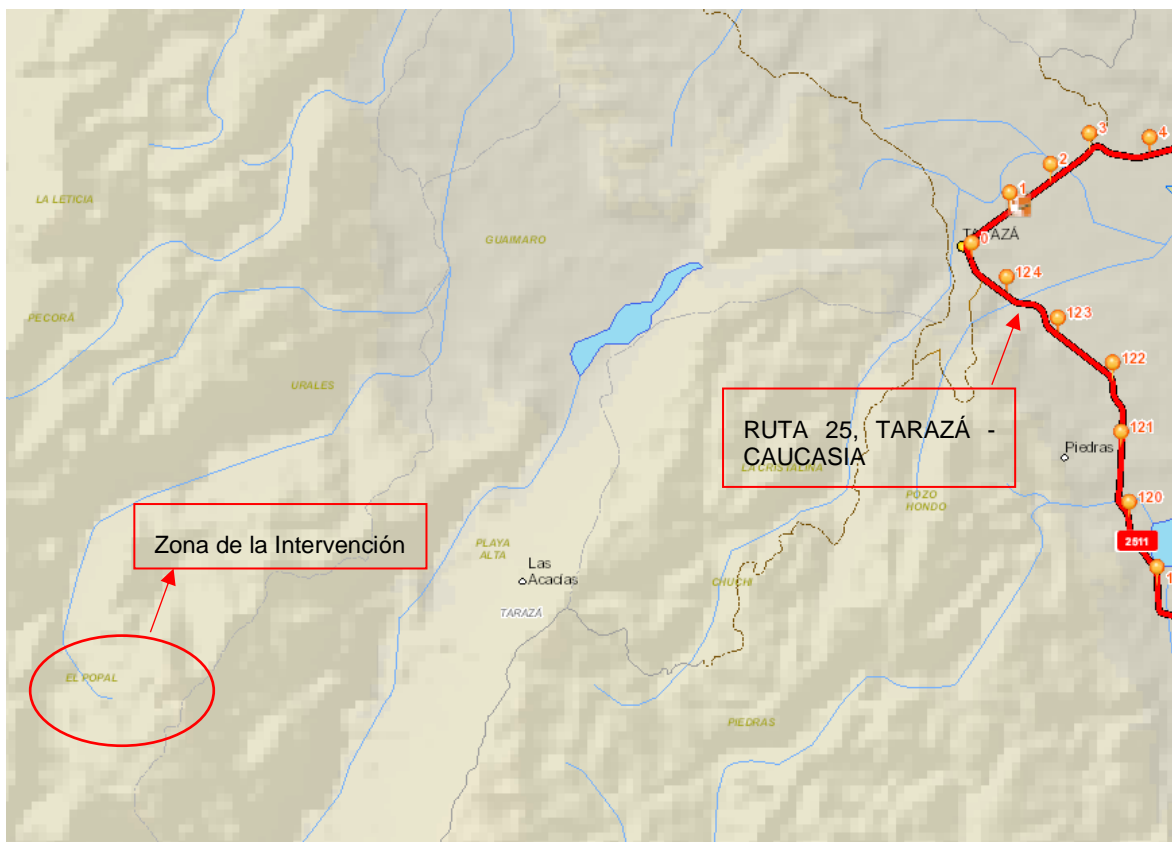


Fuente: Adaptado de Google Earth.

### 3.1.3. UBICACIÓN DE LA VÍA RESPECTO A VÍAS PRINCIPALES

En este subnumeral se realiza la descripción general de los corredores viales aledaños y existentes a la zona objeto de estudio. En la siguiente figura se identifica, de acuerdo con información nacional de la red vial, que El corregimiento El Guaimaro y la cabecera municipal de Tarazá, se encuentran cercanos a la RUTA 25, TARAZÁ – CAUCASIA de primer orden. De acuerdo con la RESOLUCIÓN 1530 del 2017, adoptando los criterios técnicos, la matriz y la guía metodológica para la categorización de las vías se identifica que la vía a intervenir está contemplada como una vía “veredal o de tercer orden”.

Figura 6. Identificación de la Red Vial Cercana al Proyecto RUTA 25, TARAZÁ - CAUCASIA.

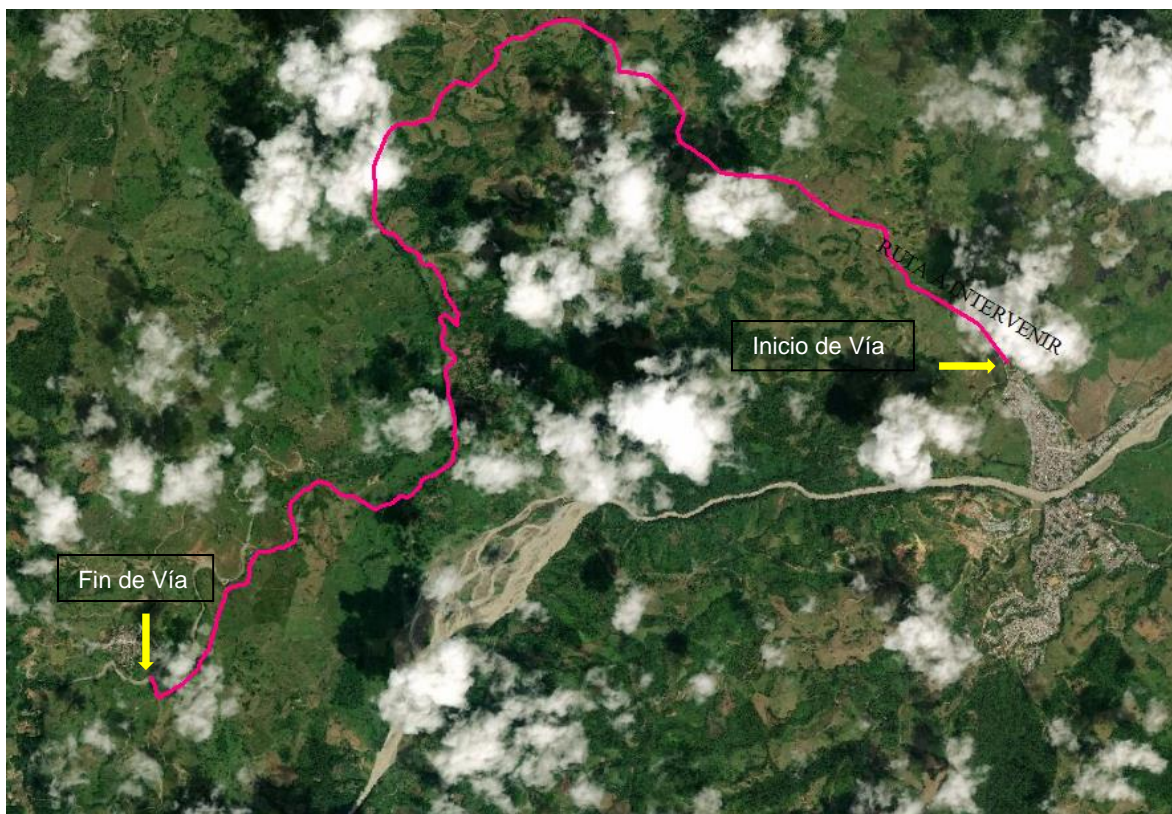


Fuente: <https://hermes.invias.gov.co/carreteras/>

### 3.1.4. SECTORIZACIÓN DE LA VÍA A INTERVENIR

En la siguiente figura se puede identificar una longitud total de 15.03 kilómetros aproximadamente que conecta la cabecera municipal de Tarazá hasta el corregimiento El Guaimaro, del municipio de Tarazá, Departamento de Antioquia.

Figura 7. Sectorización de la Intervención Vial.



Fuente: Adaptado de Google Earth.

La vía para intervenir en el análisis de este proyecto se localiza entre las coordenadas que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de inicio y fin de la vía.

Longitud Aproximada (m)	Coordenada Inicio	Coordenada Final
15.034	7°35'31.35"N 75°24'16.70"O	7°34'14.81"N 75°28'10.41"O

Fuente: Elaboración Propia.

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	ESTUDIO DE SOCAVACIÓN PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>WT. No. 901.383.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: Dic. 2019	

### 3.2. METODOLOGÍA

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, entre otros. La socavación está controlada por las características hidráulicas del cauce, las propiedades de los materiales que conforman el lecho del cauce y la forma y localización de los elementos que la inducen.

La determinación de la socavación se basa más en un análisis cualitativo y en la aplicación de conceptos de mecánica de ríos, que en el uso de fórmulas empíricas. Hay mucha incertidumbre sobre el uso de las ecuaciones y sobre cuál representa mejor las condiciones reales del río y del puente. Esto hace difícil establecer una sola ecuación que sea lo suficientemente precisa y segura para estimar las profundidades de socavación debido al alto grado de incertidumbre existente y a las muchas variables involucradas, por esta razón la decisión final sobre la cimentación de la estructura de un puente y sus medidas de protección, debe basarse no solo en los resultados que las ecuaciones arrojen, sino también, en el buen criterio, experiencia y conocimiento de las variables involucradas en el problema por parte del ingeniero evaluador.

La metodología que será utilizada es la descrita en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS y en la descrita en la literatura técnica especializada sobre temas de socavación, la que a su vez es utilizada en los cálculos realizados por el software especializado HEC-RAS V5.0.

En términos generales se pretende evaluar la socavación de las obras hidráulicas proyectadas, bajo los parámetros referenciados en el volumen de Estudios Hidráulicos.

#### 3.2.1. EVALUACIÓN DE SOCAVACIÓN EN PUENTES

##### 3.2.1.1. Socavación por contracción

La socavación por contracción es la forma más común de socavación general, y ocurre donde la cimentación de la superestructura y/o el terraplén de acceso al puente restringe el flujo del cauce. También puede ocurrir si el puente se localiza en una contracción natural del río.

La socavación por contracción se calcula a partir de las modificaciones a las ecuaciones propuestas por Laursen tanto para condición de socavación con lecho móvil (live-bed), como para condición de socavación en agua clara (clear-water).

- **Ecuación con movimiento de lecho (Live-bed):**

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{6/7} \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{K_1}$$

$$Y_s = Y_2 - Y_0$$

Donde:

Y<sub>s</sub>: Profundidad media de socavación por contracción, en metros (m).

Y<sub>1</sub>: Profundidad media en el canal principal aguas arriba, en metros (m).

Y<sub>2</sub>: Profundidad media de equilibrio en la sección contraída después de la socavación por contracción, en metros (m).

Y<sub>0</sub>: Profundidad existente en la sección contraída antes de la socavación por contracción, en metros (m).

Q<sub>1</sub>: Caudal en el cauce de aguas arriba y planicies de inundación con transporte de sedimentos, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).

Q<sub>2</sub>: Caudal en el cauce contraído, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).

B<sub>1</sub>: Ancho del cauce principal en la sección de aguas arriba transportando material de lecho, en metros (m).

B<sub>2</sub>: Ancho del cauce principal en la sección contraída menos el ancho de las pilas, en metros (m).

K<sub>1</sub>: Exponente según la siguiente tabla:

Tabla 2. Valores de K<sub>1</sub>.

V*/ω	K1	MODO DE TRANSPORTE DEL MATERIAL DE LECHO
< 0.50	0.59	La mayoría del material en contacto con el lecho
0.50 a 2.0	0.64	Poco material de lecho en suspensión
> 2.0	0.69	La mayoría del material de lecho en suspensión

Fuente: Manual de drenaje para carreteras (INVIAS).

Donde:

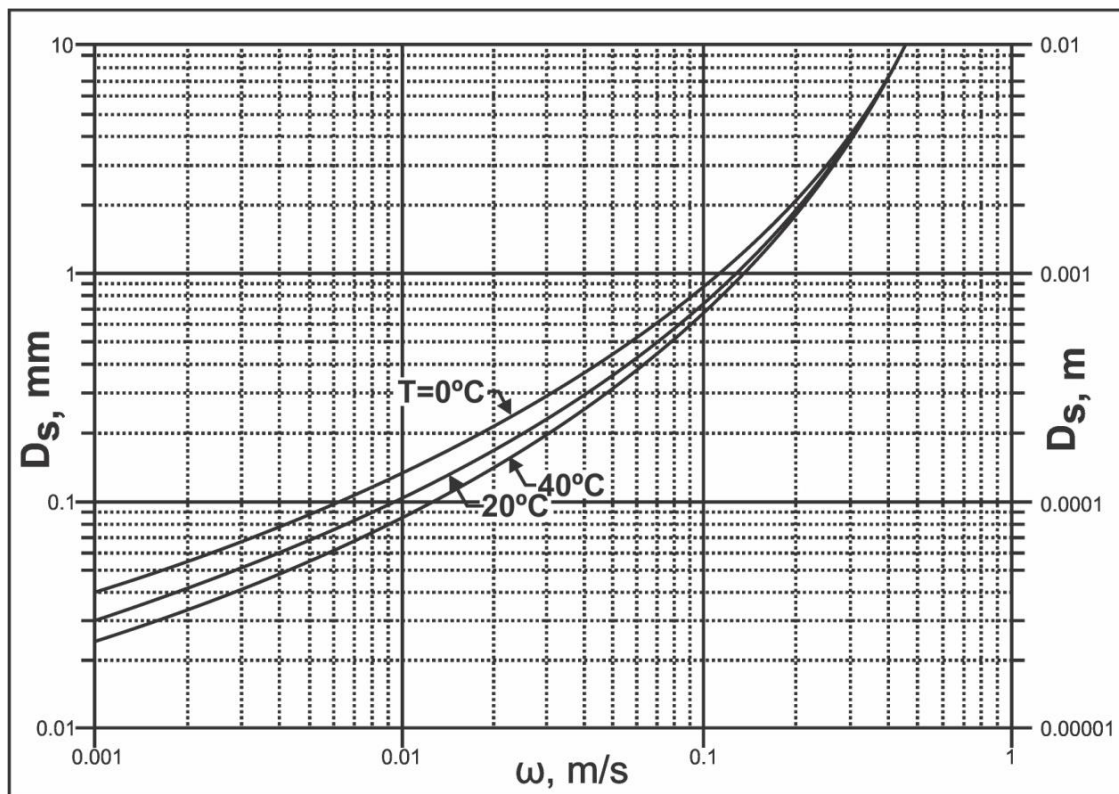
V\* = (g Y<sub>1</sub> S<sub>1</sub>)<sup>1/2</sup> : Velocidad de corte en la sección de aguas arriba, en metros por segundo (m/s).

ω: Velocidad de caída del material del lecho basada en el d<sub>50</sub>, en metros por segundo (m/s) (Figura 8).

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>).

S<sub>1</sub>: Pendiente de la línea de energía en el canal principal.

Figura 8. Velocidad de caída ( $\omega$ ) para partículas de arena.



Fuente: Manual de drenaje para carreteras (INVIAS).

- **Ecuación para agua clara (clear-water):**

$$Y_2 = \left( \frac{0.025 Q^2}{D_m^{2/3} B_2^2} \right)^{3/7}$$

$$Y_s = Y_2 - Y_0$$

Donde:

Y<sub>s</sub>: Profundidad media de socavación por contracción, en metros (m).

Y<sub>2</sub>: Profundidad media de equilibrio en la sección contraída después de la socavación por contracción, en metros (m).

Y<sub>0</sub>: Profundidad existente en la sección contraída antes de la socavación por contracción, en metros (m).

Q: Caudal a través del puente o en la zona aguas arriba del puente asociada al ancho B<sub>2</sub>, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).



 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	ESTUDIO DE SOCAVACIÓN PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>NT: No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: Dic. 2019	

$D_m$ : Diámetro medio efectivo de las partículas ( $D_m = 1.25 d_{50}$ ) en la sección contraída, en metros (m).

$d_{50}$ : Diámetro medio del material del lecho, en metros (m).

$B_2$ : Ancho del fondo de la sección contraída menos el ancho de las pilas, en metros (m).

### 3.2.1.2. Socavación local

La socavación local es el fenómeno que se presenta al pie de las estructuras interpuestas a las corrientes, las cuales inducen la formación de vórtices que, a su vez, producen la degradación o remoción del material que conforma el cauce aluvial localizado en la base del obstáculo y que están representadas por las pilas y por los estribos de los puentes.

Las corrientes a través o en vecindad de las estructuras hidráulicas ocurren frecuentemente en forma de chorros de agua turbulentos, donde las velocidades son suficientemente altas para que ellos puedan producir fosas de socavación de dimensiones notables que pueden conducir al colapso de una estructura.

La cuantificación de la socavación local asociada a tales estructuras requiere el uso de metodologías complejas que contemplen en su concepción las propiedades del flujo, de los sedimentos, del material del lecho del cauce, de la geometría y orientación de las pilas o estribos y, finalmente, de la interacción entre los sedimentos y las propiedades del flujo, lo cual no es fácil de cuantificar y, por lo tanto, hasta ahora la estimación de la socavación se basa principalmente en resultados empíricos.

#### 3.2.1.2.1. Socavación local en estribos

La socavación local en los estribos ocurre por la presencia de éstos en la sección hidráulica del río (planicie de inundación y cauce principal) y al presentarse la creciente de diseño se contrae la corriente y, por lo tanto, obstruyen el flujo, generando a su alrededor turbulencias que conducen a la formación de una fosa de socavación producida por un vórtice horizontal en el extremo aguas arriba, y desplazándose la fosa hacia aguas abajo causada por un vórtice vertical.

Los métodos que utiliza el HEC-RAS V5.0 para la estimación de la profundidad de socavación son los de Froehlich, y HIRE. Las ecuaciones que representan cada uno de estos métodos, se basan en resultados de investigaciones sobre modelos de laboratorio y, por lo tanto, cada fórmula tendrá limitaciones en su aplicación, por lo que deberá seleccionar el método que mejor se ajuste al diseño.

##### 3.2.1.2.1.1 Método de Froehlich

Froehlich, a partir de los resultados de 170 mediciones de socavación en canales de laboratorio en condiciones de lecho móvil (live-bed), obtuvo la siguiente ecuación mediante análisis de regresión:

$$\frac{Y_s}{Y_a} = 2.27 K_1 K_2 \left(\frac{L'}{Y_a}\right)^{0.43} Fr^{0.61} + 1$$

Donde:

$Y_s$ : Profundidad de socavación, en metros (m).

$Y_a$ : Profundidad media del flujo en la planicie de inundación en la sección de aproximación, en metros (m).

$K_1$ : Factor de corrección por la forma del estribo, Tabla 3.

$K_2$ : Factor de corrección por el ángulo de ataque ( $\theta$ ) del flujo con el talud del estribo, Figura 9. Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$K_2 = (\theta/90^\circ)^{0.13}$$

$\theta = 90$  cuando los estribos son perpendiculares al flujo.

$\theta < 90$  si el terraplén se orienta aguas abajo.

$\theta > 90$  si el terraplén se orienta aguas arriba.

$L'$ : Longitud efectiva del estribo y del terraplén que obstruye el paso de la corriente, en metros (m).

$Fr_1$ : Número de Froude de la planicie de inundación en la sección de aproximación,  $Fr = V_e / (g Y_a)^{1/2}$ .

$V_e$ : Velocidad media en el flujo de aproximación, en metros por segundo (m/s).  $V_e = Q_e / A_e$ .

$Q_e$ : Caudal obstruido por el estribo y el terraplén en la sección de aproximación, en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ).

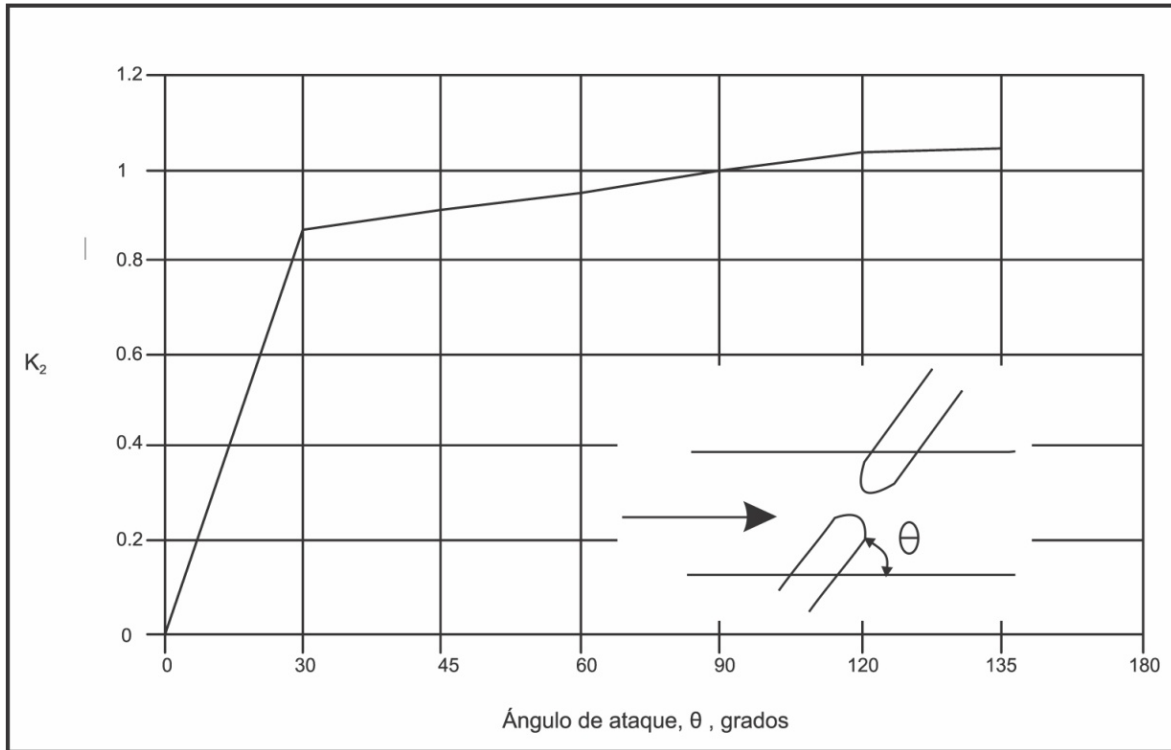
$A_e$ : Área de flujo de la sección de aproximación obstruido por el estribo y terraplén, en metros cuadrados ( $m^2$ ).

Tabla 3. Factor de corrección por forma de los estribos.

DESCRIPCIÓN	K1
Estribos de pared vertical	1.00
Estribos de pared vertical con aletas	0.82
Estribos con todas sus caras inclinadas	0.55

Fuente: Manual de drenaje para carreteras (INVIAS).

Figura 9. Factor de corrección K2 por orientación del estribo.



Fuente: Manual de drenaje para carreteras (INVIAS).

El uso del método de Froehlich se recomienda tanto para condiciones de lecho móvil (live-bed) como para agua clara (clear-water).

### 3.2.1.2.1.2 Método HIRE

Este método llamado HIRE, fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros Militares de los Estados Unidos, a partir de datos de campo de socavación en espigones construidos en el Río Mississippi, y se puede usar para calcular la socavación en estribos.

La ecuación HIRE se aplica cuando la relación entre la longitud proyectada del estribo y la profundidad de flujo es mayor de 25 ( $L/Y_1 > 25$ ). La ecuación es la siguiente:

$$\frac{Y_S}{Y_1} = 4 F_r^{0.33} \frac{K_1}{0.55} K_2$$

Donde:

$Y_s$ : Profundidad de socavación, en metros (m).

$Y_1$ : Profundidad del flujo en la pata del estribo, ya sea en la planicie de inundación o en el canal principal, en metros (m).

 <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p>	<p>ESTUDIO DE SOCAVACIÓN PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.</p>		 <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019 NIT: No. 901.283.823-6</p>

Fr: Número de Froude calculado con base en la velocidad y la profundidad adyacente y aguas arriba del estribo.

K<sub>1</sub>: Factor de corrección por la forma del estribo (Tabla 3).

K<sub>2</sub>: Factor de corrección por el ángulo de ataque ( $\theta$ ) del flujo con el talud del estribo, Figura 9. Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$K_2 = (\theta/90^\circ)^{0.13}$$

$\theta = 90$  cuando los estribos son perpendiculares al flujo.

$\theta < 90$  si el terraplén se orienta aguas abajo.

$\theta > 90$  si el terraplén se orienta aguas arriba

El uso de la ecuación HIRE se recomienda tanto para condiciones de lecho móvil (live-bed) como para agua clara (clear-water).

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	ESTUDIO DE SOCAVACIÓN PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>WT. No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: Dic. 2019	

## 4. ASPECTOS DE SOCAVACIÓN

En este apartado se analizarán las características del sitio, del cauce, y de las obras proyectadas desde el punto de vista de la socavación.

Para la evaluación hidráulica del cauce que pasa debajo del puente se realizó el cálculo de los perfiles de flujo en el programa HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center- River Analysis System*) Versión 5.0, del U. S. Army Corps of Engineers, considerando los caudales máximos asociados a períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50, obtenidos a partir de la aplicación de la fórmula racional, con una intensidad de lluvia, y las áreas aferentes de acuerdo con la cartografía del IGAC o fotos satelitales de Google Earth y Global Mapper.

Para la evaluación de la socavación se utiliza la herramienta *Hydraulic Design* del software especializado HEC-RAS, tomando como punto de partida el modelo desarrollado en este software para el volumen de Estudio Hidráulico. Los datos básicos para el desarrollo del modelo hidráulico son especificados y detallados en el volumen de referencia antes mencionado.

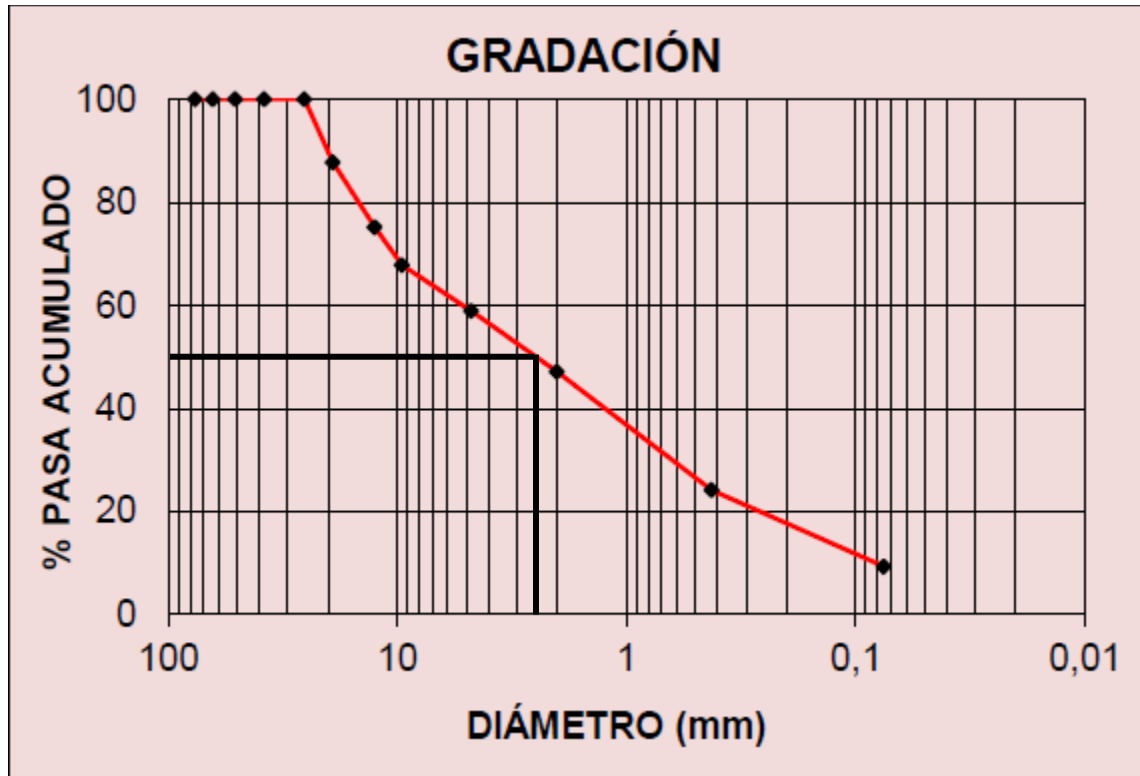
### 4.1. GRANULOMETRÍA DEL LECHO DEL CAUCE.

Como se explica en el ítem 3.2.1.1 de este documento, uno de los parámetros de entrada necesarios para realizar el análisis de la socavación por contracción es el diámetro medio del material del lecho ( $d_{50}$ ), parámetro que se obtiene de la curva granulométrica de una muestra del material del lecho del cauce. Debido a que no se cuenta con una curva granulométrica del material de fondo del cauce, se toman la curva granulométrica de una de las muestras de suelo tomada en cercanías al cauce, como una buena aproximación para realizar el cálculo de la socavación.

#### 4.1.1. GRANULOMETRÍA DEL LECHO DE QUEBRADA URALES.

La curva granulométrica presentada en la Figura 10, corresponde a la obtenida del Sondeo No. 1 del Estudio de Suelos realizado cerca de la Quebrada Urales durante el levantamiento de la información en el sitio. Por ende, el valor correspondiente al  $d_{50}$  seleccionado para el cálculo de la socavación por contracción en este punto es aproximadamente igual a 2.50 mm, correspondiente a valores para suelos arcillosos.

Figura 10. Curva granulométrica de la Muestra 1 del Sondeo No 1 – Puente Urales.



*Fuente: Elaboración Propia.*

#### 4.2. EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN DEL PUENTE.

El análisis de socavación de las estructuras se realizó con el software especializado HEC-RAS V5.0. Las geometrías de las secciones hidráulicas del cauce analizado se extrajeron de la información obtenida a través de levantamiento topográfico realizado en sitio. Las características del tablero son obtenidas a raíz del diseño geométrico y estructural de los puentes.

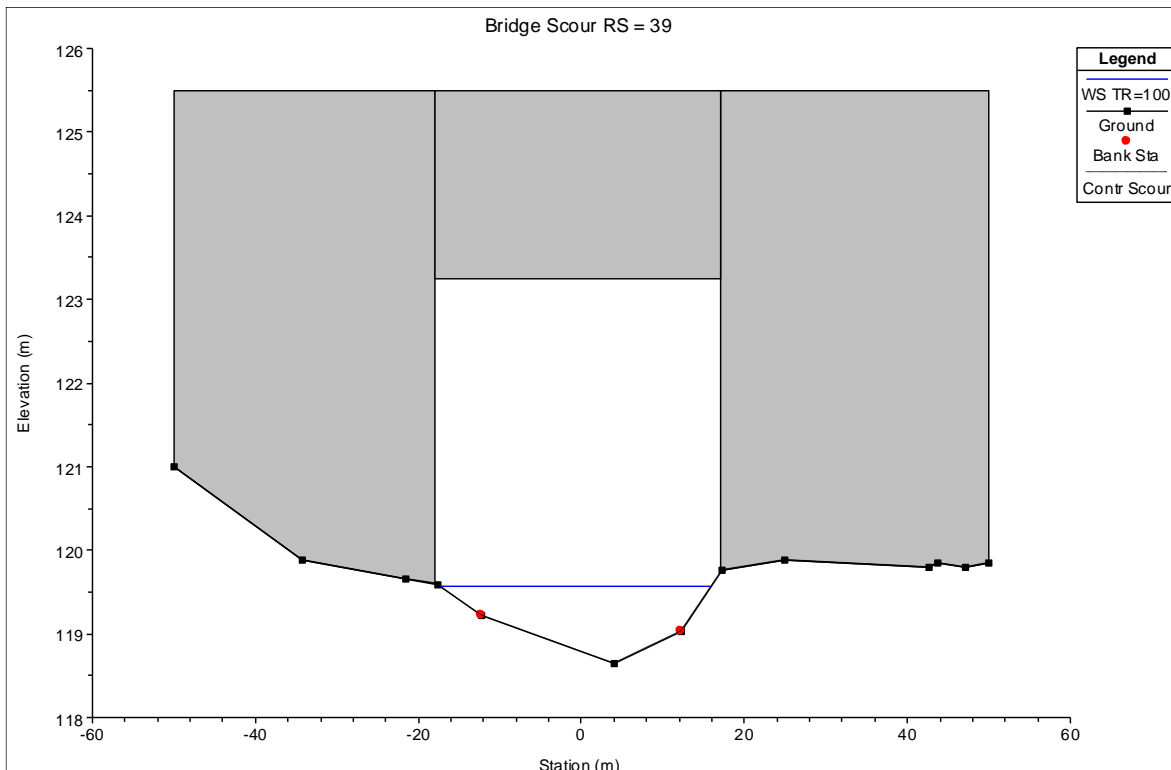
#### 4.2.1. EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN DEL PUENTE SOBRE LA QUEBRADA URALES.

Las características ambientales, geométricas e hidráulicas de la sección a estudiar del cauce son:

- Ancho interno: 7.70 m
- Largo: 35.00 m
- Espesor de tablero: 2.25 m (Incluye la viga)
- Pendiente del cauce: 0.63% ( $S_0 = 0.0063$ )
- Coeficiente de rugosidad de Manning: 0.040
- Periodo de análisis: 100 años
- Caudal: 24.63 m<sup>3</sup>/s
- Temperatura media anual: 27.9°C

Los resultados obtenidos en el cálculo de la socavación de la sección del Puente propuesto se presentan a continuación:

Figura 11. Socavación de la sección transversal del Puente Urales (TR =100 años).



Fuente: HEC-RAS.

Figura 12. Resumen datos de entrada para cálculo de socavación por contracción (a), y socavación local en estribos (b) del Puente Urales.

(a)

	LOB	Channel	ROB
Y1:	0.24	0.72	0.34
V1:	0.91	1.89	1.14
Y0:	0.17	0.66	0.27
Q2:	0.57	26.66	0.88
W2:	4.99	24.41	3.72
D50:	2.50	2.50	2.50
Equation:	Defau	Defau	Defau
Live Bed Specific Data			
Q1:	1.09	25.06	1.97
W1:	4.89	18.34	5.10
K1:	K1 ...	0.640	0.640

(b)

	Left	Right
Toe sta at Bridge:	-18.00	17.00
Toe sta at App:	-11.11	17.82
Length:	4.89	5.10
Y1:	-0.02	-0.15
K1:	1.00 - Vertical abutment	
Skew (deg):	90.00	90.00
K2:	1.00	1.00
Equation:	Default	
Froehlich's Eqn. Specific Data		
L':	4.89	5.10
Ya:	0.24	0.34
Qe:	1.09	1.97
Ae:	1.19	1.73
HIRE Eqn. Specific Data		
V1:	0.66	0.87

Fuente: HEC-RAS.

Tabla 4. Resumen de profundidades de socavación en metros (m).

Tipo de socavación	Margen Izq.	Cauce principal	Margen Der.
<b>Socavación por contracción</b>	0.00	0.00	0.00
<b>Socavación local en estribos</b>	0.00	N/A	0.00
<b>Socavación total</b>	0.00	0.00	0.00

Fuente: HEC-RAS.

Los resultados indican que la socavación total en la sección del puente corresponde a una socavación igual a 0.00 m; como era de esperarse, no se presenta socavación por contracción, ni socavación en estribos, debido a que los apoyos del puente se encuentran lejos del margen de inundación de la quebrada y estos no generan una contracción al flujo de agua durante la tormenta de los 100 años.

Sin embargo, se recomienda la instalación de obras de protección contra la erosión en las proximidades de los estribos, con bolsacretos o bolsacemento, debido a que



el nivel de agua se encuentra en cercanías a los estribos del puente. Los resultados de los cálculos de la socavación se encuentran anexos al presente documento.

#### 4.3. TIPOS DE OBRAS A EJECUTAR – CANTIDADES DE OBRA

Las obras por ejecutar son las siguientes:

Tabla 5. Obras a Ejecutar.

ABSCISA	TIPO DE OBRA	COMENTARIOS
<b>Puente quebrada Urales</b>	Muros en bolsacreto	Ambos estribos del puente

*Fuente: Propia.*

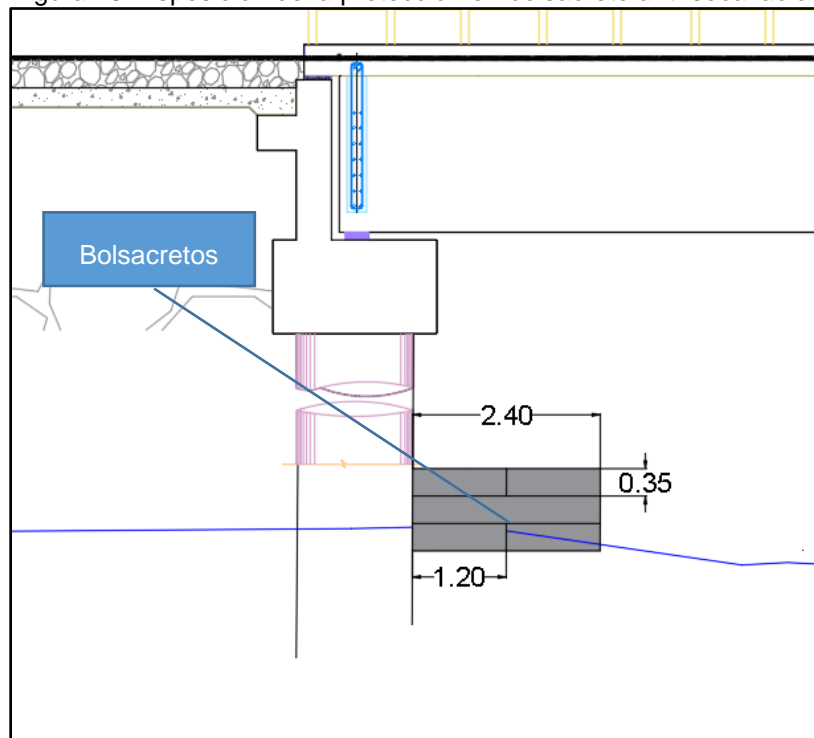
Las cantidades de obras previstas a ejecutar se muestran en el siguiente cuadro. Todas las especificaciones corresponden a ítems INVIAS.

Tabla 6. Cantidades de obras a ejecutar por diseño de socavación.

No.	ÍTEM	ESPECIFICACIONES		ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD
		GENERAL 2013	PARTICULAR			
1	1P		1-2013p	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE BOLSACRETO	m <sup>3</sup>	84.00

*Fuente: Propia.*

Figura 13 Disposición de la protección en bolsacreto anti-socavación



*Fuente: Propia.*

La protección se hará en ambas orillas y incluyendo la zona de las aletas.

 <b>El futuro es de todos</b> Agencia de Renovación del Territorio	ESTUDIO DE SOCAVACIÓN PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.		 <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b> <small>WT: No. 901.283.823-6</small>
	Contrato: SC 01521 19	Fecha: Dic. 2019	

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se hizo el análisis de Socavación del tramo previsto a Intervenir dentro del Contrato de la ART con el Consorcio Territorial 2019, en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guaimaro, departamento de Antioquia.

Se determinaron las profundidades de socavación para el puente de la quebrada Urales siguiendo los procedimientos establecidos en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS, de acuerdo con las características hidráulicas suministradas por el Estudio Hidráulico del proyecto.

Este cálculo de la socavación se determinó mediante el uso de la herramienta *Hydraulic Design* del software HEC-RAS V5.0. Los resultados de los cálculos muestran que la estimación de la socavación total en el puente Urales da como resultado un valor de 0.00 m, lo cual es lo esperado debido a que los estribos del puente no se encuentran sobre las zonas de inundación de la respectiva tormenta de análisis de los 100 años.

Sin embargo, se recomienda proteger contra la erosión las proximidades de los estribos del puente vehicular Urales con muros en bolsacreto o bolsa cemento, debido a que el nivel de agua se encuentra en cercanías a los estribos del puente. Dentro de las obras a ejecutar se establece la construcción de los muros en bolsacreto para protección de los estribos contra la erosión. Se muestra la ubicación del muro anti-socavacion en la figura 13. Dentro del presente informe se adjuntan las cantidades de obras para la ejecución de los trabajos correspondientes a la construcción los muros en bolsacreto antes mencionados.

 <p><b>El futuro es de todos</b>          Agencia de Renovación del Territorio</p>	<p>ESTUDIO DE SOCAVACIÓN          PROYECTO TARAZÁ –          CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.</p>	 <p><b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b>  <small>WT: No. 901.283.823-6</small></p>	
	<p>Contrato: SC 01521 19</p>	<p>Fecha: Dic. 2019</p>	<p>Versión: 01</p>

## 6. REFERENCIAS

*Hidrología en la Ingeniería - Germán Monsalve Sáenz*

*Manual de Drenaje Para Carreteras – INVIAS*

*Cartilla Guía para la evaluación de cantidades y ejecución de presupuestos - INVIAS*

 <p><b>El futuro es de todos</b>          Agencia de Renovación del Territorio</p>	<p>ESTUDIO DE SOCAVACIÓN          PROYECTO TARAZÁ –          CORREGIMIENTO EL GUAIMARO.</p>	 <p><b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b>  <small>WT: No. 901.283.823-6</small></p>	
	<p>Contrato: SC 01521 19</p>	<p>Fecha: Dic. 2019</p>	<p>Versión: 01</p>

## **7. ANEXOS**

### **7.1. RESULTADOS DE MODELACIÓN DE SOCAVACIÓN PUENTE QUEBRADA URALES**

Ver carpeta de Anexos – Archivo “ModelaciónSocavación\_Puente\_Urales”.

### **7.2. PLANO DE PROTECCIÓN CONTRA LA SOCAVACIÓN PUENTE**

Ver carpeta de Anexos – Archivo “Protección de socavación Puente Urales\_Tarazá”.