

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN LOCAL QUE SE PRODUCIRÍA AL PIE DE LAS PILAS DE FUNDACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO SANTA BÁRBARA, SECTOR LAS FLORES, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO ANGOSTURA DEL ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LOS  
BACHILLERES MOTA G.,  
MOISÉS R. Y PERAZA P.,  
HÉCTOR L. PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO  
GEÓLOGO.**

**CIUDAD BOLÍVAR, OCTUBRE DE 2023**



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**ACTA DE APROBACIÓN**

Este trabajo de grado, titulado: **“ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN LOCAL QUE SE PRODUCIRÍA AL PIE DE LAS PILAS DE FUNDACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO SANTA BÁRBARA, SECTOR LAS FLORES, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO ANGOSTURA DEL ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.”** presentado por los bachilleres, **MOISÉS RAFAEL MOTA GUTIÉRREZ** de cédula de identidad N° **27.928.097** y **HÉCTOR LUIS PERAZA PERAZA** de cédula de identidad N° **26.604.137**, como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO GEÓLOGO** ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre y apellido	Firma
<u>Prof. Francisco Monteverde</u> Asesor	_____
<u>Prof. Juan C. España</u> Jurado	_____
<u>Prof(a). Beatriz C. Echeverría</u> Jurado	_____
_____ Prof. Francisco Monteverde Jefe de Depto. de Ing. Geológica	_____ Prof. Francisco Monteverde Director de Esc. de Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar, a los \_\_\_\_ días del mes Octubre de 2023

## **DEDICATORIA**

Dedico mi tesis de grado principalmente a mis padres Marlenis Gutiérrez y Enio Mota, y a mi hermana Enimar Mota por darme su apoyo en todo este camino universitario y de la vida. A mis amigos más cercanos, Charmelo Yoryibet, Plaza Alejandro, Mora Víctor y Nacaracti Brenda por su toda su ayuda y compañía. A mi compañero de tesis por su esfuerzo y colaboración para concluir juntos esta tesis.

*Moisés Rafael Mota Gutiérrez*

## **DEDICATORIA**

Primeramente, a mis padres Peraza Presilla, Zaida Isabel y Peraza Fuenmayor, Héctor Luis, por el amor y apoyo incondicional en todo este camino.

A mis tías Nanci Peraza, Yuraima Peraza, Iraida Peraza, Yoiris Peraza y a mis tíos Manuel Peraza y Luis Martínez, por siempre confiar en mí, aconsejarme, y enseñarme a ser una mejor persona y profesional.

Para mi hermano Luis Andrés, por permitirme vivir inolvidables experiencias, y por siempre apoyarme.

Para los ángeles que me acompañan, Isolina de Peraza y Rogelio Centeno.

Y para mi compañero de tesis, amigos, y profesores que estuvieron en todo este proceso.

***Héctor Luis Peraza Peraza***

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiéramos agradecer a nuestra casa de estudio, a nuestros compañeros y amigos, a nuestras familias, y a todos los profesores que nos acompañaron desde el primer semestre hasta el día de hoy, ya que sin ellos no seríamos las personas que somos actualmente y los profesionales que queremos llegar a ser.

Al profesor Dafnis por su apoyo y consejo en la realización de esta tesis.

¡Muchas gracias a todas las personas que fueron parte de nuestro proceso de formación profesional y como personas de bien!

*Moisés Rafael Mota Gutiérrez*

*Héctor Luis Peraza Peraza*

## RESUMEN

La presente investigación se basa en la estimación de la socavación que se produciría al pie de las pilas del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara de Ciudad Bolívar, estado Bolívar, siendo este el objetivo principal. La investigación es de nivel descriptivo, con un diseño de investigación de campo y experimental para la cual se ha admitido una metodología que incluye desarrollar la caracterización climática de la zona, describir la geomorfología con base al levantamiento topográfico que se efectuará y que permitirá la construcción de las secciones transversales del cauce del río. Mediante diversas variables que se implementan en el siguiente estudio se efectúa una descripción de los parámetros hidráulicos de la corriente fluvial con el apoyo del programa de flujo permanente unidimensional HECRAS, descripción de las condiciones granulométricas de los sedimentos, descripción geométrica y dimensional de las estructuras civiles presentes y una evaluación de la socavación local que se produce en las pilas siguiendo los autores como: Maza – Sánchez y Froehlich. Entre los resultados más relevantes obtenidos se tiene en primer lugar que las características climatológicas del área permiten afirmar que el clima de la zona corresponde al de un bosque seco tropical. En relación a las características texturales de los sedimentos se puede apreciar que los materiales del lecho se tratan de Arenas mal gradadas (SP). Geomorfológicamente, la zona corresponde a un típico río desarrollado en sedimentos del Holoceno o Reciente, su cauce y riberas han sido alteradas reiteradamente mediante la acción del hombre (dragado del cauce, descarga de desechos sólidos en las terrazas aluviales y en los vanos laterales del puente). Una vez aplicada esta metodología, se encontró que los suelos del lecho se corresponden con arenas mal gradadas (SP) con un  $d_{50}$  promedio de 0.30 mm, así mismo se determinó que la cuenca aportadora de avenidas tiene un área de 600 ha y produciría un caudal aproximado de  $96.10 \text{ m}^3/\text{s}$  para un período de retorno de 25 años. La socavación que se produciría en los cimientos estarán en el orden 0.06 m y 0.8 m estimada por los criterios y modelos matemáticos de Maza Sánchez, y de Froehlich. Como medida de control de la socavación se propone la utilización gaviones colocados perimetralmente en torno a los sistemas de pilas del puente sobre el río Santa Bárbara

## CONTENIDO

<b>ACTA DE APROBACIÓN</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>CONTENIDO</b> .....	1
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	4
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	6
<b>LISTA DE APÉNDICES</b> .....	7
<b>INTRODUCCIÓN</b> ...	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	3
<b>SITUACIÓN A INVESTIGAR</b> .....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación .....	5
1.2.1    Objetivo general.....	5
1.2.2    Objetivos específicos.....	5
1.3 Justificación de la investigación.....	5
1.4 Alcance de la investigación .....	6
<b>CAPÍTULO II</b> .....	7
<b>GENERALIDADES</b> .....	7
2.1 Ubicación geográfica y relativa del área .....	7
2.2 Características geográficas.....	9
2.2.1    Topografía.....	9
2.2.2    Geomorfología .....	10
2.2.3    Geología regional.....	11
2.3 Acceso al área de estudio.....	11
<b>CAPÍTULO III</b> .....	13
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	13

3.1 Antecedentes .....	13
3.2 Bases teóricas .....	15
3.2.1 Puente.....	15
3.2.2 Socavación.....	19
3.3 Bases legales.....	38
3.3.1 Ley Orgánica del Ambiente (2006).....	39
3.3.2 Ley de Aguas (2007).....	41
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>43</b>
<b>METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....</b>	<b>43</b>
4.1 Tipo de investigación.....	43
4.2 Diseño de investigación.....	44
4.2.1 Investigación documental.....	44
4.2.2 Investigación de campo.....	45
4.3 Población de la investigación.....	45
4.4 Muestra de la investigación.....	46
4.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	48
4.5.1 Técnicas de recolección de datos.....	48
4.5.2 Instrumentos de recolección de datos.....	49
4.4 Procedimiento para el logro de los objetivos.....	49
4.4.1 Caracterización climatológica de la zona de estudio.....	50
4.4.2 Descripción geomorfológica de la zona de estudio.....	50
4.4.3 Determinación de las características hidráulicas del río Santa Bárbara....	50
4.4.4 Distribución granulométrica de los sedimentos del lecho.....	52
4.4.5 Socavación local potencial al pie de las pilas del puente.....	52
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>53</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
5.1 Descripción de las dimensiones y geometría de las pilas, estribos del puente sobre el río Santa Bárbara.....	53
5.1.1 Descripción de las dimensiones de los estribos del puente.....	54
5.1.2 Descripción de las dimensiones de las pilas de fundación del puente.....	54

5.2	Caracterización climatológica de la zona de estudio.....	58
5.2.1	Precipitación .....	59
5.2.2	Evaporación .....	61
5.2.3	Temperatura media mensual.....	63
5.3	Descripción de las características hidráulicas del rio Santa Bárbara.....	65
5.3.1	Delimitación y cuantificación del área y perímetro de la cuenca .....	65
5.3.2	Determinación de los coeficientes de escorrentía ponderado.....	66
5.3.3	Determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca .....	66
5.3.4	Determinación de los tiempos de concentración .....	68
5.3.5	Determinación de la intensidad de lluvia para cada área delimitada .....	69
5.3.6	Determinación del caudal de drenaje que aportará la cuenca.....	70
5.3.7	Determinación de los parámetros hidráulicos y elementos geométricos .....	72
5.4	Descripción de la textura de los sedimentos o materiales del cauce .....	76
5.5	Estimación de la posible socavación en las pilas .....	77
5.5.1	Método de Maza Sánchez.....	77
5.5.2	Método de Froehlich (1991) .....	78
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>80</b>
	Conclusiones .....	80
	Recomendaciones .....	81
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>82</b>
	<b>APÉNDICES.....</b>	<b>86</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Imagen de satélite del área de estudio .....	8
2.2 Posición del puente (círculo azul) sobre el río Santa Bárbara.....	8
2.3 Ubicación relativa nacional del área de estudio.....	9
2.4 Acceso al área de estudio.....	12
3.1 Puente de vigas simplemente apoyadas.....	16
3.2 Elementos de un puente tipo viga.....	16
3.3 Elevación de un puente.....	19
3.4 Sección transversal del cauce.....	19
3.5 Depósito de materiales en el fondo de un río.....	21
3.6 Daños en la estructura debido al arrastre de sedimentos.....	22
3.7 Control de erosión en zonas tropicales.....	23
3.8 Socavación local en pilas.....	24
3.9 Control de erosión en zonas tropicales.....	24
3.10 Tipos de socavación.....	25
3.11 Cálculo de la socavación local en un pilar rectangular.....	28
3.12 Cálculo de la socavación local para un pilar circular.....	29
3.13 Cálculo de la socavación local en una pila elongada.....	30
3.14 Coeficiente $K_f$ .....	33
3.15 Coeficiente $K_g$ . Método Laursen y Toch.....	34
3.16 Coeficiente $K_f$ .....	36
3.17 Coeficiente $K_v$ .....	36
3.18 Coeficiente $K_H$ .....	37
4.1 Mapa de ubicación de sitios de muestreo de suelos.....	47
5.1 Estructura del puente Las Flores vista desde el río Santa Bárbara.....	54
5.2 Vigas de soporte del puente Las Flores Sur.....	55
5.3 Soporte tipo losa y pila del puente Las Flores Norte.....	55
5.4 Vista en planta de sistema de pilas de fundación del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara. Croquis sin escala.....	56
5.5 Vista lateral del sistema de pilas del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara. Dibujo sin escala.....	56
5.6 Vista de perfil sistema de pila de fundación puente Las Flores. Dibujo sin escala.....	57
5.7 Croquis de uno de los sistemas de pilas de fundación del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara. Dibujo sin escala.....	57
5.8 Pila y estribo oriental del puente.....	58

5.9	Precipitación máxima, media y mínima mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.012. (INAMEH).....	60
5.10	Precipitación mensual en (mm/mes). Área Ciudad Bolívar, Edo. Bolívar. Período 1.998 – 2.019. (Servidor Giovanni).....	60
5.11	Evaporación Media mensual en (mm). Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659 – Estado Anzoátegui Período 1.987 – 2012 (INAMEH).....	62
5.12	Evaporación mensual en (Kg/m2s). Área Ciudad Bolívar, Edo. Bolívar. Período Enero 1.980 – Julio 2.023. (Servidor Giovanni).....	63
5.13	Temperatura media mensual en (C°). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.012 (INAMEH).....	64
5.14	Temperatura para el área de Ciudad Bolívar. Período Septiembre 2002 – Julio 2.023. (Servidor Giovanni).....	64
5.15	Parámetros morfométricos de la cuenca alta-media río Santa Bárbara.....	67
5.16	Perfil longitudinal y pendiente del cauce del río Santa Bárbara.....	67
5.17	Curvas IDF para Ciudad Bolívar (Montilla y Pereira, 2010).....	69
5.18	Hidrograma Unitario Triangular SCS para la cuenca media del río Santa Bárbara.....	71
5.19	Río de Salt Creek at Roca, Nebraska.....	72
5.20	Mapa topográfico señalando la ubicación de las secciones transversales consideradas en la zona de estudio.....	73
5.21	Secciones transversales en las proximidades del puente en estudio.....	74
5.22	Vistas en 3D, verticales y planta de las secciones transversales.....	76
5.23	Curvas de los análisis de distribución granulométrica de las muestras tomadas en el área de estudio.....	77

## LISTA DE TABLAS

		Página
2.1	Coordenadas UTM .....	7
3.1	Factor de corrección $f_c$ . Método de Maza-Sánchez (Maza Álvarez, 1987).....	26
3.2	Factor de corrección $K_f$ . (Maza Álvarez, 1987).....	32
3.3	Factor $K_1$ .....	38
3.4	Factor $K_2$ .....	38
4.1	Coordenadas UTM de ubicación de las muestras de suelos tomadas en el río Santa Bárbara.....	46
5.1	Precipitación media mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.012. (INAMEH).....	59
5.2	Evaporación media mensual en (mm). Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659-Estado Anzoátegui. Período 1.987–2012 (INAMEH).....	61
5.3	Temperatura media mensual en (°C). Estación: Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1987–2012. (INAMEH).....	63
5.4	Sub-áreas delimitadas dentro de la cuenca .....	65
5.5	Coeficientes de escurrimiento para las áreas delimitadas dentro de la cuenca.....	66
5.6	Coeficiente de escorrentía ponderado.....	66
5.7	Tiempos de concentración por tipo de cobertura .....	68
5.8	Intensidades de lluvia para cada área delimitada dentro de la cuenca ....	70
5.9	Estimación del caudal unitario.....	70
5.10	Estimación del caudal de diseño.....	71
5.11	Parámetros hidráulicos para cada sección transversal.....	75
5.12	Parámetros geométricos de las secciones transversales .....	75
5.13	Estimación de la socavación local en la pila rectangular según Maza - Sánchez.....	78
5.14	Estimación de la socavación local en la pila rectangular según Froehlich.....	79

## LISTA DE APÉNDICES

	Página
A <b>DATOS DE LOS ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA</b> .....	87
A.1 Análisis granulométrico de la muestra M1 .....	88
A.2 Análisis granulométrico de la muestra M2 .....	88
A.3 Análisis granulométrico de la muestra M3 .....	89
A.4 Análisis granulométrico de la muestra M4 .....	89

## INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo principal el de analizar los procesos de socavación que se producirían al pie de las pilas del puente ubicado en el sector Las Flores sobre el río Santa Bárbara en el municipio Angostura del Orinoco, Ciudad Bolívar.

La socavación es el resultado de la acción erosiva del agua que fluye, excavando y arrastrando material del cauce y riberas del río.

Se aplicarán ciertos métodos basados en la revisión de diferentes variables físicas que de alguna manera inciden en tales procedimientos erosivos. Entre las variables que serán investigadas en la presente área de estudio, se encuentran diversos parámetros geométricos y dimensionales de la pila y el puente, los parámetros geotécnicos y físicos de los suelos que constituyen el cauce del río, las características del clima dominante en la zona de estudio, las variables hidráulicas del flujo y las características del fluido.

Luego del estudio fijado en cada una de estas variables se llevará a cabo una evaluación de la capacidad erosiva o de socavación local que se produce en los alrededores de las pilas de fundación del puente del sector Las Flores sobre el río Santa Bárbara.

Este documento se encuentra estructurado en cinco (5) capítulos, de la siguiente manera:

Capítulo I: situación a investigar: está conformado por el planteamiento del problema, los objetivos (el general y los específicos), la justificación, alcance y limitaciones que se plantean a desarrollar.

El Capítulo II: generalidades: presenta la ubicación del área de estudio y algunas generalidades de la zona tales como: la geología, la geomorfología, los suelos y aspectos bióticos (fauna y flora).

El Capítulo III: marco teórico: muestra los antecedentes de estudio en la zona y conceptos teóricos y prácticos que enriquecen el contenido del trabajo.

El Capítulo IV. Metodología de trabajo. Incluye en su contenido el tipo y diseño de la investigación, la delimitación de la población y la muestra extraídas del área de estudio, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, el flujograma que representa los pasos necesarios que han de realizarse para el cabal desarrollo de la investigación y el procedimiento para el logro de los objetivos específicos planteados.

En el Capítulo V: análisis e interpretación de resultados. Se presentan los resultados finales de la investigación.

Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones más relevantes como consecuencia final del estudio para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1 Planteamiento del problema

Desde tiempos remotos la existencia de los primeros puentes formados por la naturaleza, y el hombre primitivo, estaban hechos de troncos y piedras, que con el pasar del tiempo fueron abriendo la creatividad hacia mejores estructuras. Siendo la civilización romana una de las primeras culturas en construir puentes de forma generalizada. La necesidad de tener una red de calzadas bien comunicada y fija hizo que los ingenieros romanos construyeran una gran cantidad de puentes para salvar los ríos y valles que se encontraban en sus alrededores.

Hoy en día a nivel mundial han sido muchas las fallas que sufren éstas estructuras por causas de la socavación en las pilas de los puentes, generando en su mayoría un gran porcentaje de colapsos en las mismas. El aumento de la socavación, en muchas oportunidades mediante investigaciones se han visto favorecidas por fenómenos de inundaciones en la subestructura.

En otros casos, sin embargo, también se incluyen los efectos que ejercen los agentes erosivos entorno a las pilas que son las responsables de soportar la mayor carga, ya que estos puentes deben estar diseñados bajo normas y patrones de seguridad ofreciendo una mejor resistencia a cada uno de los agentes que los afecta.

En Venezuela se han registrado una serie de colapsos en puentes, que son un problema para la reflexión en la ingeniería y cada una de las entidades públicas y privadas nacionales. Necesitando evaluar las posibles soluciones a las causas fundamentales del deterioro de dichas estructuras mediante investigación, inspección

y avances tecnológicos que analicen los efectos negativos que esto conlleva a nivel nacional, siendo visto de manera económica, social y política.

En el estado Bolívar se encuentra una gran variedad de puentes que a lo largo del tiempo han fallado en sus cimentaciones debido a la erosión y agentes de intemperismo llegando en algunas oportunidades a la caída del puente. Tales eventos, obligan a mantener un monitoreo sistemático y continuo de todas estas estructuras viales.

En esta investigación se explicará el proceso complejo de la socavación que se encuentra en las pilas de uno de los puentes sobre el río Santa Bárbara del sector Las Flores.

Debido a todo lo planteado referido al área cabe formular las siguientes preguntas de investigación:

¿Qué características climáticas influyen en los procesos hidráulicos e hidrológicos del río Santa Bárbara?,

¿Cómo es la geomorfología de las riberas del río considerando el relieve topográfico en el área del puente?,

¿Cuáles son las características hidráulicas del río Santa Bárbara en el tramo de estudio?,

¿Qué tipo de sedimentos se encuentran en el lecho y riberas del área de estudio producidos por la dinámica fluvial?,

¿Cómo sería el comportamiento de la socavación al pie de las pilas del puente del sector Las Flores sobre el río Santa Bárbara?

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Estimar la socavación que se produciría en las fundaciones de las pilas del puente ubicado el sector Las Flores sobre el río Santa Bárbara, Ciudad Bolívar, municipio Angostura del Orinoco, estado Bolívar, Venezuela.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar climatológicamente la zona de estudio.
2. Describir geomorfológicamente la zona de estudio mediante secciones transversales del lecho.
3. Determinar las características hidráulicas del tramo de ubicación del puente sobre el río Santa Bárbara.
4. Describir la distribución granulométrica de los sedimentos del lecho y de las riberas.
5. Evaluar la erosión producida y/o la socavación local potencial al pie de las pilas del puente.

## **1.3 Justificación de la investigación**

Este proyecto de investigación se enfoca a solucionar el problema puntual situado en las fundaciones de las pilas del puente sobre el río Santa Bárbara, donde la corriente del río ha estado generando agentes erosivos alrededor de las pilas del puente citado,

generando problemas de inestabilidad que con el tiempo podría ser una agente causante del deterioro de la estructura del puente.

#### **1.4 Alcance de la investigación**

Se realizará el estudio analítico de la socavación de las fundaciones de las pilas del puente producidas por las relaciones entre las características climatológicas, topográficas y geomorfológicas (formación del relieve y cauce del río), así como también los parámetros hidráulicos del río Santa Bárbara mediante la velocidad y su caudal.

Este análisis también considera la investigación de las partículas del suelo como elementos principales de efectos en procesos erosivos producidos en las cimentaciones del puente con base a las evaluaciones entre la geometría de las pilas y los parámetros antes descritos en el área de estudio.

#### **1.5 Limitaciones de la investigación**

Para el momento de ejecución de la presente investigación no se detectaron obstáculos o dificultades significativas que dificultasen el desarrollo de la misma.

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES**

#### **2.1 Ubicación geográfica y relativa del área**

El puente en estudio se encuentra ubicado hacia la zona centro occidental geográfica de Ciudad Bolívar, en la intersección del río Santa Bárbara con la Calle 3 del sector que conecta al sector Las Flores con el sector Perú Viejo. Limita al Norte con la cuenca baja del río Buena Vista, hacia el Sur con su cuenca alta, hacia el Este con la urbanización el Perú y hacia el Oeste con la calle principal del sector Las Flores. En la tabla 2.1 se muestra las coordenadas UTM del centroide del área de estudio.

Tabla 2.1 Coordenadas UTM.

<b>COORDENADAS UTM /(huso 20, Datum REGVEN, elipsoide GRS-80)</b>	
<b>NORTE (m.)</b>	<b>ESTE (m.)</b>
438763	896488

A continuación, se presenta una imagen satelital de la zona de estudio en la Figura 2.1 y en una porción del plano urbanístico de Ciudad Bolívar se muestra la ubicación del puente sobre el río Santa Bárbara en la calle 3 del sector Las Flores (Figuras 2.1 y 2.2).



Figura 2.1 Imagen de satélite del área de estudio (Google Earth, 2018).

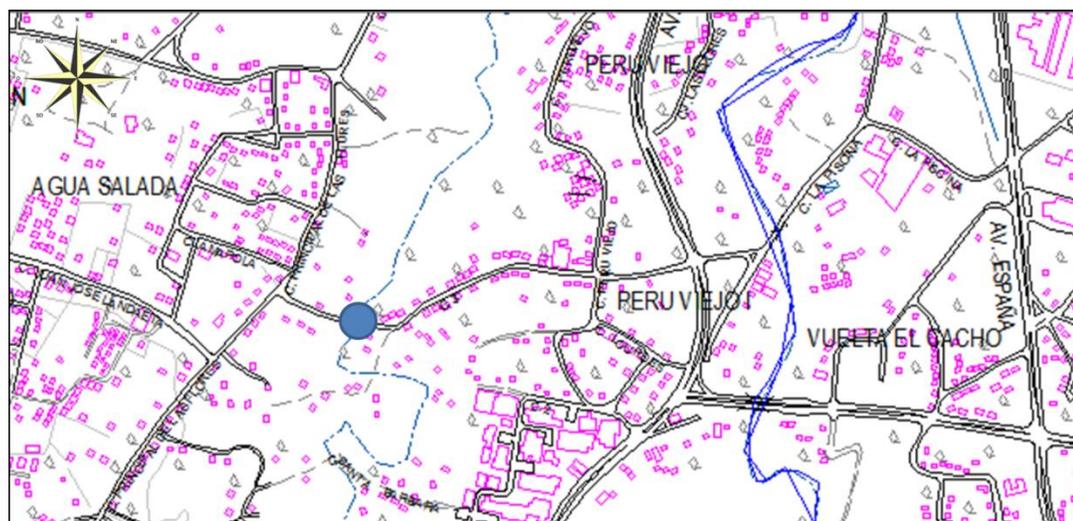


Figura 2.2 Posición del puente (círculo azul) sobre el río Santa Bárbara

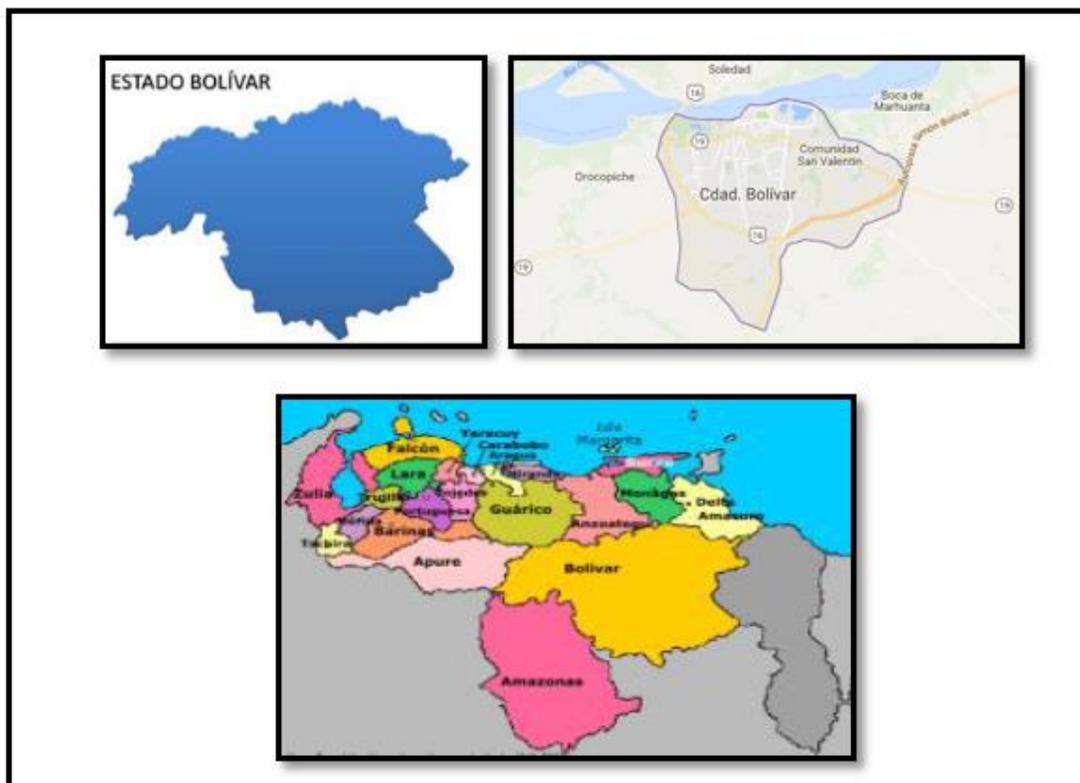


Figura 2.3 Ubicación relativa nacional del área de estudio

## 2.2 Características geográficas

### 2.2.1 Topografía

La zona de estudio se encuentra al sur del país, en la capital del estado Bolívar que representa un 24% de la superficie del mismo. La ubicación del puente tiene coordenadas geográficas de N 8° 06' 48.73" W 63° 34' 21.02". Por otro lado, la cuenca del río Santa Bárbara tiene un perímetro de 9442 m y un área aproximada de 512 ha. La cota aproximada de la plataforma del puente es de 41 msnm; sin embargo, las partes más elevadas de la Ciudad se encuentran en la parte sur de la (125 msnm) y las más bajas en las riberas del río Orinoco a 12 msnm, en el sector conocido como el casco

histórico. En la zona de estudio, correspondiente a la cuenca media del río Santa Bárbara, las elevaciones son alrededor de 35 msnm.

### **2.2.2 Geomorfología**

Santiago bajo la asesoría del Dr Galo Yáñez Pintado (2015) en un estudio para la C.V.G. TECMIN, C.A., afirma que lo más importante en la zona del estudio corresponde a la formación Mesa que consiste en sedimentos del plio-pleistoceno. Estas planicies y pleniplanicies, en parte han sido muy disectadas a costa del retroceso progresivo de las cárcavas que la caracterizan, el relieve predominante en consecuencias son llanuras de erosión, llanuras aluviales, llanuras de inundación y vegas.

Se localizan en una amplia faja en el franco sur del río Orinoco donde son menores los rangos de precipitación (800 mm-1400 mm anuales) y las escorrentías generan erosión intensa en forma de áreas de arenas malas (bad-lands) debido a sedimentos no consolidados.

Las pleniplanicies forman una extensión casi plana por rebajamiento del nivel original; sin embargo, aunque la peniplanación generalizada es el elemento que se destaca, presenta todavía desniveles en los relieves de colina y vegas alternas, que le dan en algunos casos aspectos multi-convexos, con pendientes suaves onduladas entre 4-8% y 8-16%.

El drenaje, en líneas generales, establece un patrón detrítico de denso a poco denso.

### **2.2.3 Geología regional**

A nivel regional, las rocas más representativas son las graníticas, también pueden encontrarse rocas metavolcánicas, metasedimentarias e ignimbríticas.

La cuenca del río Santa Bárbara se encuentra dentro de los límites de Ciudad Bolívar, la cual se encuentra bien descrita geológicamente.

La hoja geológica de Ciudad Bolívar está incluida dentro del escudo de Guayana el cual a su vez es compartido con Brasil, las Guyanas y una pequeña porción de Colombia.

El Macizo precámbrico en Venezuela comprende aproximadamente el 50% del territorio nacional y se localiza al sur del Orinoco y está dividido en 4 provincias geológicas que de la más antigua a la más joven son: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima. (Menéndez, 1968).

La cuenca del río Santa Bárbara está comprendida en la hoja #7440 de Cartografía Nacional y posee unidades geológicas aflorantes y discordantes entre sí, tales unidades son las siguientes: el basamento ígneo-metamórfico del complejo de Imataca y dos unidades cuaternarias; sedimentos de la formación Mesa del pleistoceno y sedimentos Recientes aluvionales.

### **2.3 Acceso al área de estudio**

El puente que atraviesa el río Santa Bárbara está ubicado en Ciudad Bolívar, en una zona urbana, en la calle 3 a la cual se puede llegar desde: el Oeste, desde el sector Agua Salada a través de la avenida principal de Las Flores o también desde el este, por el sector Perú Viejo 1 a través de la avenida Principal de la Urb. El Perú y luego

tomando hacia el Oeste por la calle 3 del sector Perú Viejo 1 – y Las Flores (Figura 2.4).

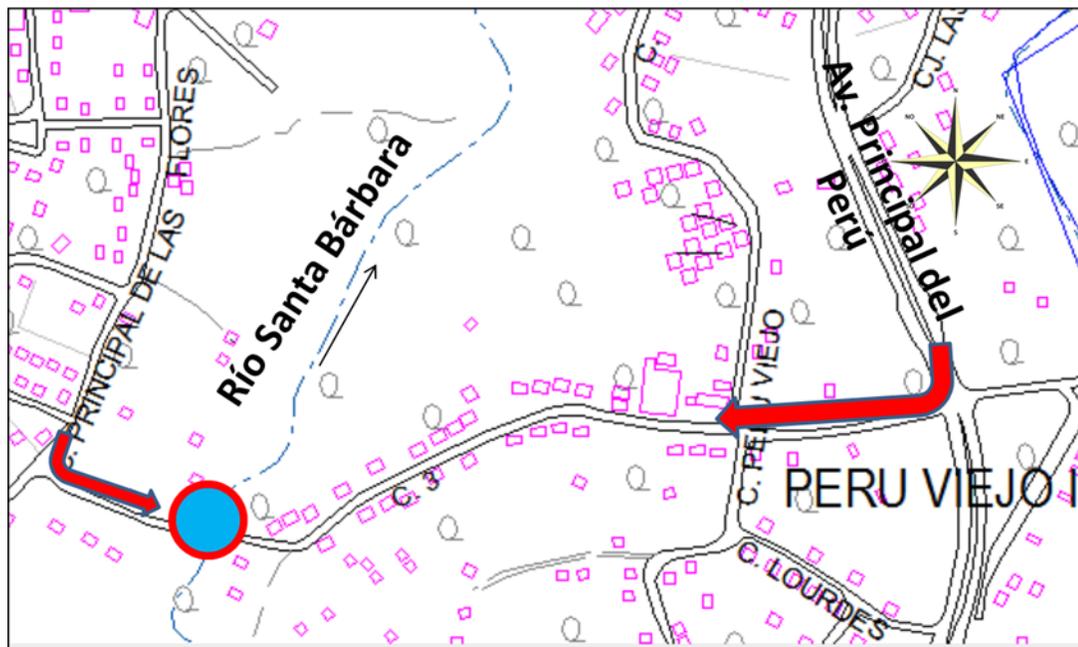


Figura 2.4 Acceso al área de estudio

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes**

Almonte y de la Cruz (2022) presentaron un reporte sobre la **“EVALUACIÓN Y DISEÑO DE PROTECCIÓN FRENTE A LA SOCAVACIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE UNOCOLLA, JULIACA – PUNO”** los objetivos de investigación, eran realizar una evaluación y diseño de protección contra el proceso de socavación hidráulica del puente Unocolla de la ciudad de Juliaca, Puno. La población la conformó el puente Unocolla y la muestra una subestructura del puente. El método utilizado es aplicado y su diseño es experimental puro, utilizando métodos cuantitativos, en el que se describe el problema de investigación como los resultados realistas. Para determinar los efectos de socavación se recolectó información topográfica, hidrológica y sedimentológica para posteriormente realizar un modelamiento hidráulico en el programa Hec – Ras. Se determinaron profundidades de socavación en referencia a pilares, determinando en el pilar 1 profundidad de socavación 1.2 m, en el pilar 2 profundidad de socavación 2.46 m, en el pilar 3 profundidad de socavación 1.2 m, en el pilar 4 profundidad de socavación 1.2m, por lo cual se propone como alternativa de solución el proceso de enrocado. Este trabajo proporciona información sobre los parámetros a considerar en la presente investigación.

Azmayeen et. al (2022) realizaron el trabajo **“ESTIMATING LIVE-BED LOCAL SCOUR AROUND BRIDGE PIERS IN COHESIONLESS SEDIMENTS: APPLICABILITY AND BIAS OF SELECTED MODELS”**. En dicho estudio se utilizaron bases de datos de profundidad de socavación de campo y laboratorio de lecho vivo en los análisis para cuantificar la dispersión del modelo

mediante la evaluación comparativa de la profundidad de socavación calculada versus los datos medidos. Para los datos de laboratorio de lecho vivo, los valores de error porcentual absoluto medio (MAPE) oscilaron entre el 23,5% y el 59,8%, mientras que el conservadurismo osciló entre el 28,4% y el 97,8%. Para los datos de campo de lecho vivo, el conservadurismo varió del 93,3% al 95,1%, mientras que MAPE osciló entre el 205,6% y el 319%. Se aplicaron modelos estadísticos para determinar el sesgo de los cuatro modelos deterministas. En consecuencia, la precisión y el conservadurismo de un modelo determinado se ajustaron mediante factores de modificación propuestos. El enfoque propuesto permite la selección de un factor de modificación adecuado para satisfacer una probabilidad objetivo de fallecimiento o un conservadurismo objetivo.

Zamora, S. (2016), elaboró una investigación titulada **“ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN LOCAL ENTORNO A LAS PILAS DEL PUENTE UBICADO EN LA AVENIDA NUEVA GRANADA SOBRE EL RÍO SAN RAFAEL, SECTOR LAS CAMPIÑAS MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR”**. Este trabajo de grado perseguía como objetivo fundamental determinar la magnitud de la socavación que podía producir la corriente fluvial al pie de las pilas de dicho puente.

Guerra, N. (2014), realizó una investigación titulada **“ANÁLISIS DE LA EROSIÓN LOCAL EN TORNO A LAS PILAS Y ESTRIBOS DE LOS PUENTES VIALES UBICADOS EN EL RÍO CAÑAFÍSTOLA, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA”**. El propósito de esta investigación, al igual que la anterior, es determinar cuantitativamente la magnitud de la socavación local al pie de las pilas del citado puente.

Infante, D. y Maestracci, P. (2015), realizaron el Trabajo de Grado titulado **“RELACIÓN ENTRE TURBIDEZ, CONCENTRACIÓN Y EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y SU INFLUENCIA FÍSICA EN LAS PILAS DE**

**CONCRETO DEL PUENTE DEL RÍO MARHUANTA, UBICADO EN EL MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**". Esta investigación proporciona información geológica, geotécnica e hidrológica, caracterizando los parámetros físico-naturales del fluido, y su relación entre la concentración y el transporte de sedimentos en la zona de estudio.

Estas investigaciones nos dan apoyo documental y metodológico, en cuanto a las características texturales de los sedimentos granulométricos, parámetros hidráulicos, y socavación de la corriente del río; así como un estudio geológico, geotécnico e hidrológico de esta cuenca, en su parte alta y media. Proporcionando también información clara de los parámetros hidrológicos y climatológicos del área de estudio, ofreciendo un mejor desarrollo del área de estudio sobre la misma cuenca del río.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Puente**

Un puente es una estructura destinada a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros, animales y mercancías (Arnal, E., 2000).

#### **3.2.1.1 Puentes tipo viga**

Los puentes tipo viga son los más comunes. Estructuralmente, también son los más sencillos (Seminario, E., 2004).

• **Puentes de tramos simplemente apoyados** (una o varias luces simplemente apoyadas): pueden ser de losa maciza o de losas y vigas. Su desventaja se encuentra en el mayor número de juntas y dispositivos de apoyo. (Seminario, E., 2004).

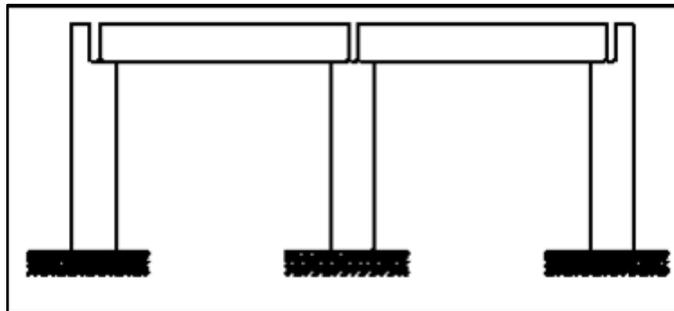


Figura 3.1 Puente de vigas simplemente apoyadas (Seminario, E., 2004).

a. **El puente tipo** está conformado por: losa, vigas, estribos y pilares, cimentación, sistemas de apoyos y juntas, y obras complementarias (barandas, separadores, drenaje, etc.). (Seminario, E., 2004).

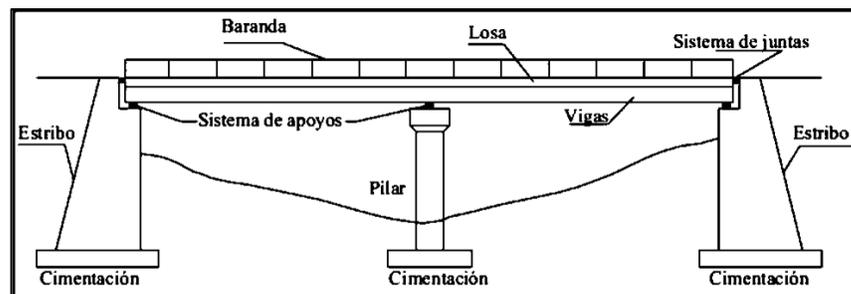


Figura 3.2 Elementos de un puente tipo viga. (.)

b. **Losa**: la losa es el elemento estructural que sirve para soportar el tránsito vehicular y peatonal para luego transmitir sus cargas al sistema de vigas (Seminario, E., 2004).

c. **Vigas:** las vigas constituyen el elemento estructural que soporta la losa. (Seminario, E., 2004).

d. **Subestructura:** las subestructuras están conformadas por los estribos y los pilares quienes tienen la función de soportar a la superestructura (vigas y losa). A su vez, los estribos y pilares transmiten sus cargas a la cimentación y esta las transmite al terreno. (Seminario, E., 2004).

e. **Apoyos y juntas:** los sistemas de apoyos tienen la función de transmitir las cargas de la superestructura a la subestructura. (Seminario, E., 2004).

f. **Obras complementarias:** el buen funcionamiento del puente requiere de obras complementarias que aseguren la durabilidad de las estructuras y que brinden seguridad al tránsito. (Seminario, E., 2004).

Entre las obras complementarias podemos encontrar las barandas, separadores, bermas, losas de transición, cortinas y alas, obras de iluminación, obras de señalización, drenaje, obras de capacitación pavimentación, etc. (Seminario, E., 2004).

### 3.2.1.2 Los cimientos

Son encargados de transmitir al terreno todos los esfuerzos. Están formados por las rocas, terreno o pilotes que soportan el peso de estribos y pilas (Arnal, E., 2000).

**Pilotes:** Son cimentaciones profundas. Suelen tener forma circular y pueden ser o prefabricados o ejecutados in situ.

### **3.2.1.3 Las pilas**

Son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos. Deben soportar la carga permanentemente y sobrecargas sin asientos, ser insensibles a la acción erosiva de los principales agentes naturales. Este es el principal lugar de enfoque debido que es aquí donde se registra la erosión causada por el agua del río al fluir o desplazarse.

En los pilares de los puentes se presenta fuerte erosión y físicamente el fenómeno se genera debido a que alrededor de los pilares se dan velocidades mayores que las velocidades medias de la corriente, acompañadas de un sistema de vórtices frontales, laterales y de estela detrás del pilar. Este sistema de vórtices en la base del pilar es el principal responsable de la erosión (Arnal, E., 2000).

### **3.2.1.4 Estribos**

Situados en los extremos del puente sostienen los terraplenes que conducen al puente. A veces son reemplazados por pilares hincados que permiten el desplazamiento del suelo en su derredor. Deben resistir todo tipo de esfuerzos por lo que se suelen construir en hormigón armado y tener formas diversas (Arnal, E., 2000).

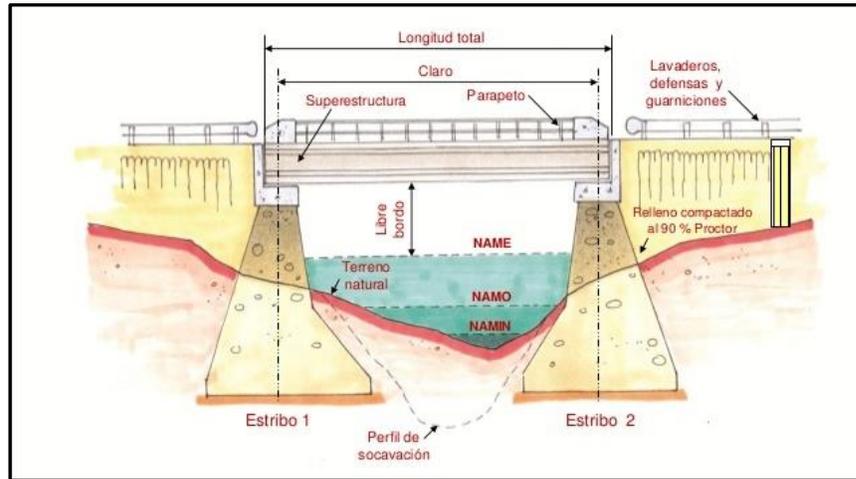


Figura 3.3 Elevación de un puente (García, A., 2010).

### 3.2.2 Socavación

La socavación es la degradación del fondo de un cauce, la remoción de los materiales del fondo por la acción del flujo de agua, ésta depende de las características de la corriente y de las propiedades de dichos materiales del fondo.

Los materiales granulares se erosionan rápidamente y los suelos arcillosos son más resistentes a la erosión. Es por esto que en arenas la socavación se alcanza en horas, mientras que en suelos cohesivos puede tardar días y en rocas años (Aguado, A., 2012).

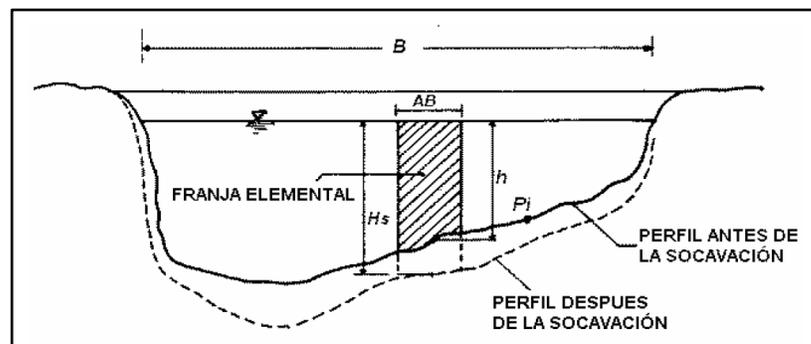


Figura 3.4 Sección transversal del cauce (Badillo, J., y Rodríguez, R., 1992).

### 3.2.2.1 Socavación en puentes

Es el fenómeno que consiste en la pérdida del material del lecho y las bancas del canal debido a la acción erosiva del agua alrededor de los puentes. Este fenómeno es producto del desequilibrio provocado entre la remoción y el aporte de material en esa sección. Adicionalmente la socavación en un puente surge por la compleja interacción entre el flujo del río, los materiales de los bordes del río y para el caso de socavación localizada el tipo de estructura del puente en sí misma. La socavación en los lechos de los ríos es un problema complejo que puede ser evaluado de distintas maneras. La ingeniería hidráulica de los puentes debe ser considerada no solamente bajo el puente, se debe tener en cuenta el área suficiente aguas arriba como aguas abajo para tener en consideración no solo los efectos locales sino también los efectos a gran escala (Giraldo, G., y Vegas, D., 2013).

### 3.2.2.2 Factores que influyen en la socavación

Algunos factores que pueden alterar de maneras diferentes la profundidad de la socavación en los puentes son: características del río, material del fondo o material arrastrado, el flujo que lleva el río, también el tipo de estructura que interviene en el cauce (Melville y Coleman., 2000).

**Factores geomorfológicos:** son aquellos que hacen referencia a las características de la cuenca y el río analizado. Dentro de las características de la cuenca se incluyen los factores climáticos y los usos y tipos de suelos, elementos de primera importancia para determinar las tasas de erosión y transporte en el sitio de interés. Las características de mayor interés son la pendiente, la geometría de la sección transversal, su forma en planta, las características del material del lecho y las condiciones de borde del canal. (Barbosa, S., 2013).

La caracterización del material del lecho incluye la distribución del sedimento, la gradación, la estratificación de capas en el lecho y la presencia de materiales cohesivos. (Barbosa, S., 2013).

Los sedimentos no cohesivos son aquellos cuyo movimiento depende solamente de las propiedades de las partículas que los componen y de la posición relativa entre las mismas. Dentro de este grupo se encuentran las arenas y gravas. Los sedimentos cohesivos, por el contrario, son aquellos cuyo movimiento inicial depende de la compleja interacción físico-química entre las partículas coloidales y los efectos de la presión de poros. La socavación en lechos de material cohesivo es un fenómeno mucho más complejo y no puede ser evaluado según las características del tamaño de la partícula. (Barbosa, S., 2013).

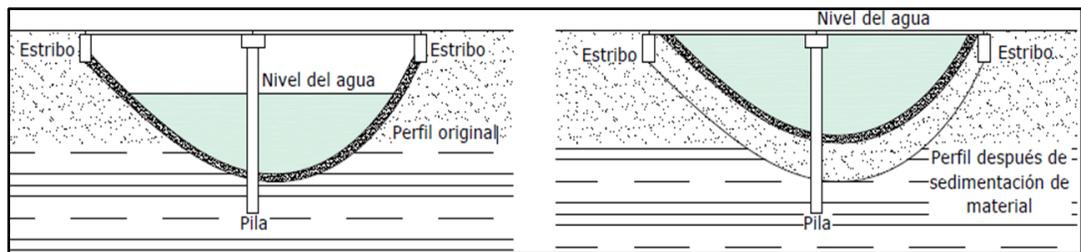


Figura 3.5 Depósito de materiales en el fondo de un río (Aguado, A., 2012).

**Factores de transporte:** son aquellos que se relacionan con el transporte tanto de agua como de sedimentos. Las características del flujo, como la velocidad, duración, caudal y frecuencia, así como las tasas de transporte y tipo de sedimento transportado durante tales eventos, son necesarias para estimar la profundidad de socavación. (Barbosa, S., 2013).

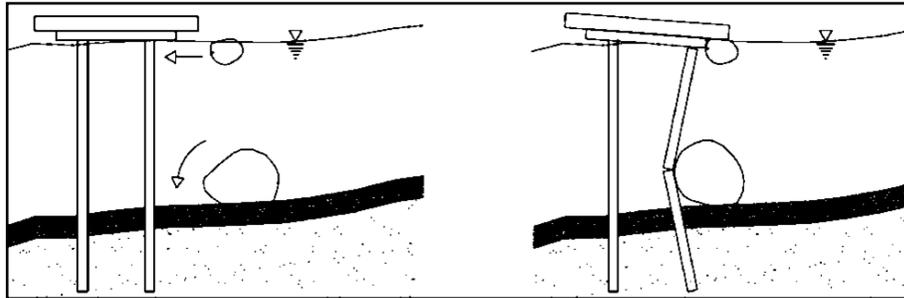


Figura 3.6 Daños en la estructura debido al arrastre de sedimentos (Aguado, A., 2012).

### 3.2.2.3 Tipos de socavación

La socavación suele presentarse en la naturaleza como un fenómeno natural, en cuyo caso se denomina socavación natural, al estudiarse este tipo de socavación se le llama socavación general, cuando la socavación es alterada o provocada por una estructura construida por el hombre, se denomina socavación inducida; en la socavación inducida se estudia la socavación local en pilas o estribos y la socavación por contracción (Aguado, A., 2012).

- **Socavación general:** consiste en el descenso del fondo del nivel del río producido por el arrastre de gran cantidad de material particulado principalmente producido por las crecientes. (Giraldo, G., y Vegas, D., 2013).

- **Socavación por estrechamiento:** ocurre cuando los apoyos, la cimentación y/o los terraplenes de acceso reducen el área hidráulica. (Monforte, A., 2016).

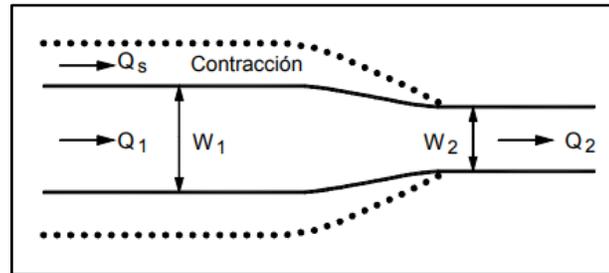


Figura3.7 Control de erosión en zonas tropicales (Suárez, J., 2001).

• **Socavación local:** la socavación local es el proceso de remoción del material alrededor de las pilas, estribos, diques y terraplenes de acceso de un puente. Este es causado principalmente por el cambio de dirección de las líneas de flujo, vórtices generados por la obstrucción del flujo, turbulencia y la aceleración del flujo. En este caso la profundidad máxima de socavación ocurre cuando el flujo es incapaz de remover más sedimentos del lecho en ese punto (Bruce, W., M., 2000).

*Principales factores que influyen en la socavación local:* Hidráulicos (gasto, tirante, velocidad), del sedimento (mediana de los diámetros, desviación estándar geométrica), geometría del puente (grado de estrechamiento, dimensiones pilas y estribos, forma, alineamiento). (Monforte, A., 2016).

*Socavación local en pilas:* la socavación local en pilas está ligado directamente a la separación tridimensional del flujo en la cara aguas arriba de la pila y a un vórtice al pie de ella. La acumulación de agua hacia aguas arriba de la obstrucción produce una onda en superficie y un flujo vertical hacia abajo lo que ocasiona un elevado gradiente de presión provocando la separación del flujo, esto genera la creación de unos vórtices alrededor de la pila los cuales son conocidos como vórtices de herradura y son los principales responsables de la socavación (Dargahi, Et., 1982).

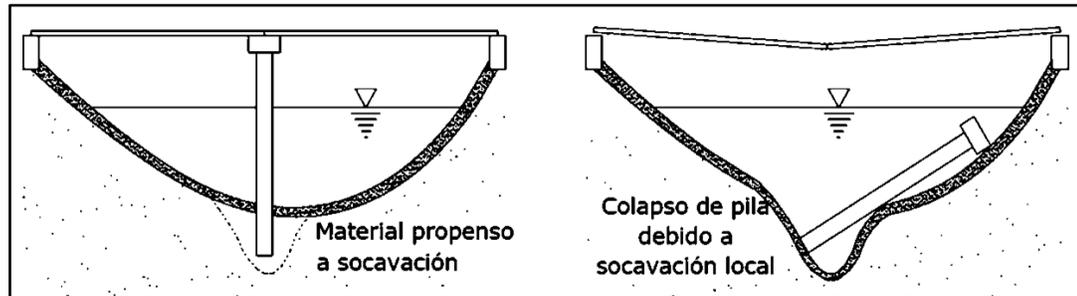


Figura 3.8 Socavación local en pilas (Aguado, A., 2012).

*Socavación local en estribos:* la socavación local en estribos se ha estudiado menos que en pilas ya que se presume que es menos relevante y afecta en menor medida a la socavación. Esto se debe al hecho que la socavación solo afecta a los estribos que interfieren directamente el flujo del agua y esto sucede principalmente cuando los terraplenes de acceso se encuentran dentro de la planicie de inundación (Giraldo, G., y Vegas, D., 2013).

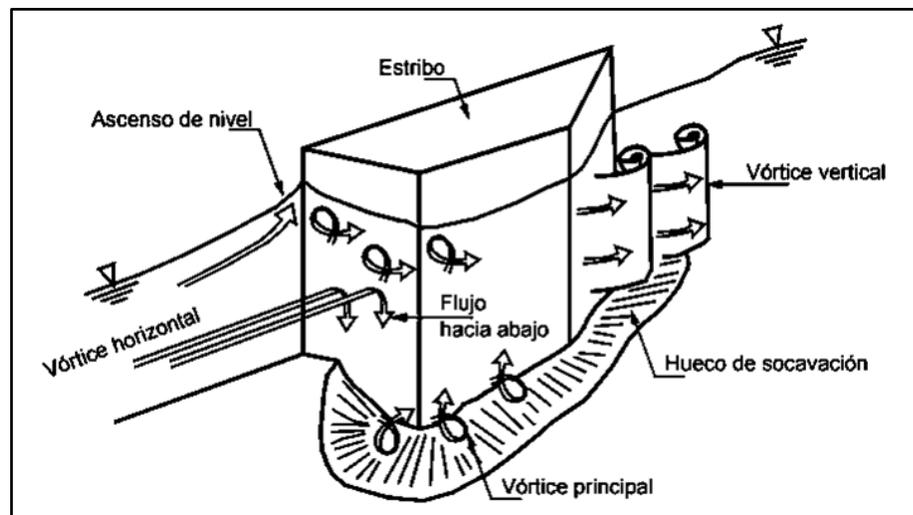


Figura 3.9 Control de erosión en zonas tropicales (Suárez, J., 2001).

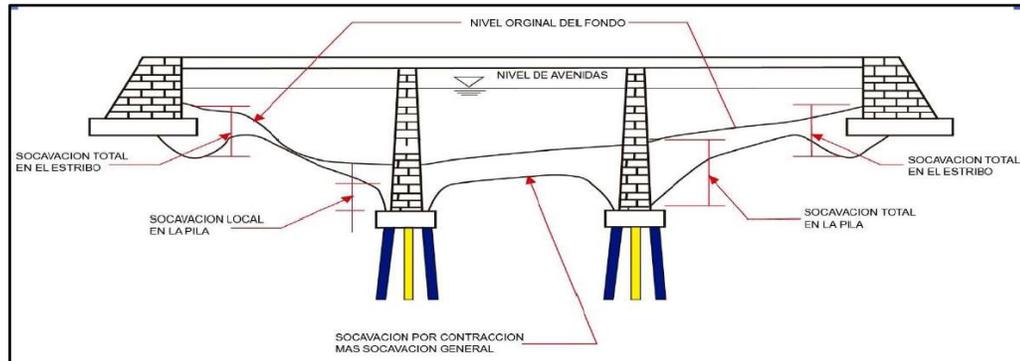


Figura 3.10 Tipos de socavación (Monforte, A., 2016).

### 3.2.2.4 Estimación de la socavación en pilas

- Método de Maza Sánchez (1968): es un método aplicable para lechos cubiertos por arena y grava. El método se basa en el uso de curvas elaboradas a partir de resultados experimentales de laboratorio efectuadas en la División de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNAM en México. Las curvas se obtuvieron experimentando con materiales entre 0.17 mm y 0.56 mm de diámetro. La socavación obtenida a partir de estas curvas para partículas con diámetro medio de 1.3 mm es mayor a la obtenida experimentalmente.

Los parámetros que intervienen en el método son: profundidad de flujo, ancho del pilar, número de Froude y el ángulo de ataque del flujo sobre la estructura. El diámetro de las partículas no se toma en cuenta. A continuación, se detallan los pasos a seguir mediante este método.

- Cálculo del cuadrado del número de Froude de la corriente,  $Fr^2$

$$Fr^2 = V^2 / (g H_s) \quad (3.1)$$

Donde:

$H_s$  : Profundidad del agua hacia aguas arriba del pilar antes de la socavación local

$V$  : Velocidad media de la corriente frente al pilar

$$Vr = \alpha h^{3/5} / H_s \quad (3.2)$$

b. Evaluación del factor de corrección  $f_c$  que considera el ángulo de ataque de la corriente (Tabla 3.1)

Tabla 3.1 Factor de corrección  $f_c$ . Método de Maza-Sánchez  
(Fuente: Maza Álvarez, 1987).

$\phi$	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$
$f_c$	1.0	1.25	1.40	1.45

Si el pilar se encuentra sesgado con respecto al flujo y  $Fr^2 < 0.06$ ,  $f_c = 1.0$ .

Si el pilar se encuentra sesgado con respecto al flujo y  $Fr^2 \geq 0.06$ , se trabaja con la siguiente expresión:

$$Fr^2 = f_c (V^2 / g H_s) \quad (3.3)$$

c. Cálculo de la relación  $H_s/a'$

$a'$ : Ancho del pilar proyectado sobre un plano normal a la dirección de la corriente.

d. Selección de la curva a usar dependiendo de la forma del pilar, (Figura 3.11, Figura 3.12 o Figura 3.13).

e. Cálculo de la profundidad de socavación.

Con el número de Froude corregido según sea el caso, se ingresa en las abscisas de la gráfica respectiva hasta interpolar la curva de  $H_s/a'$  y se lee en las ordenadas el valor de  $H_T/a'$  del cual se despeja el valor de  $y_s$ .

$$y_s = H_T - H_s \quad (3.4)$$

Donde:

$H_T$ : Profundidad de la sección socavada desde el nivel de la superficie del flujo

$y_s$ : Profundidad de socavación medida desde el fondo de cauce.

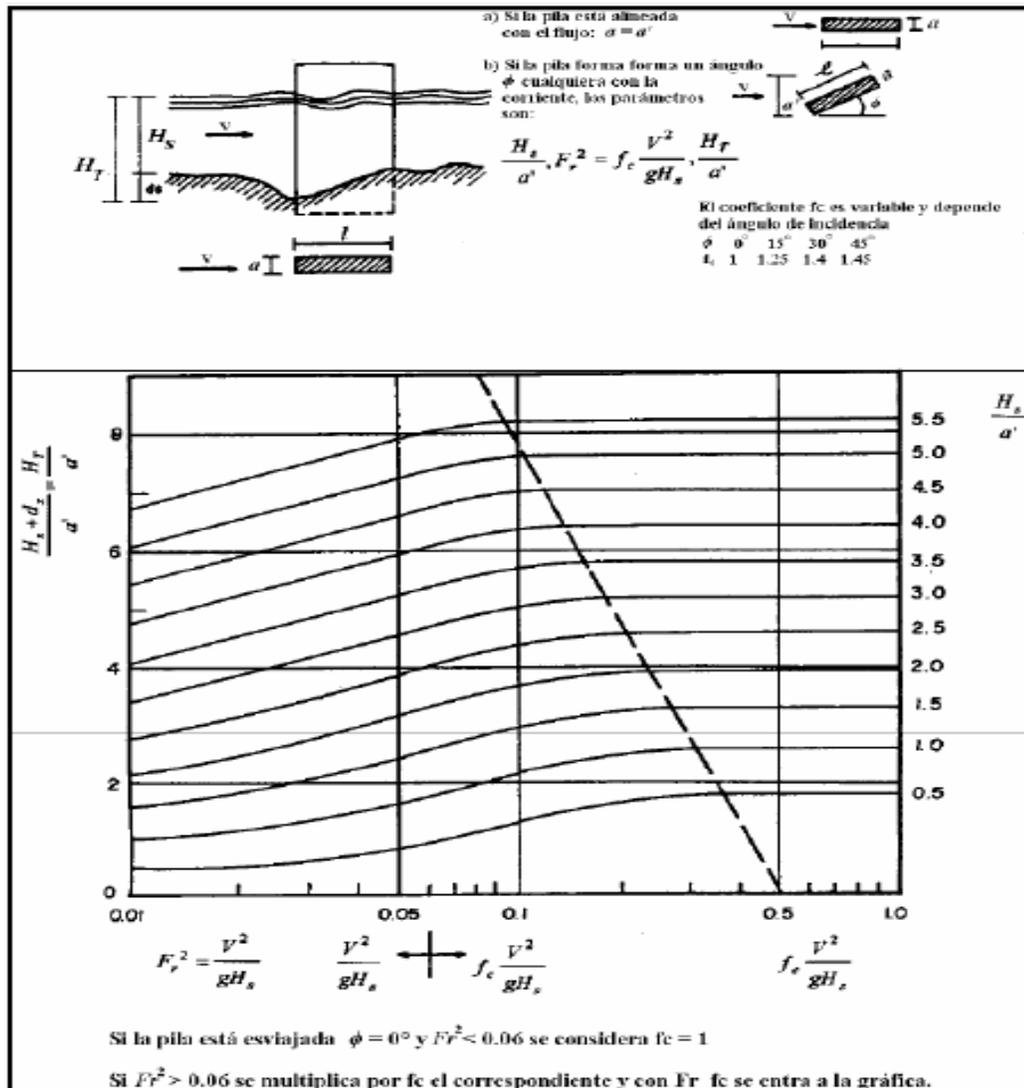


Figura 3.11 Cálculo de la socavación local en un pilar rectangular (Fuente: Maza Álvarez, 1987).

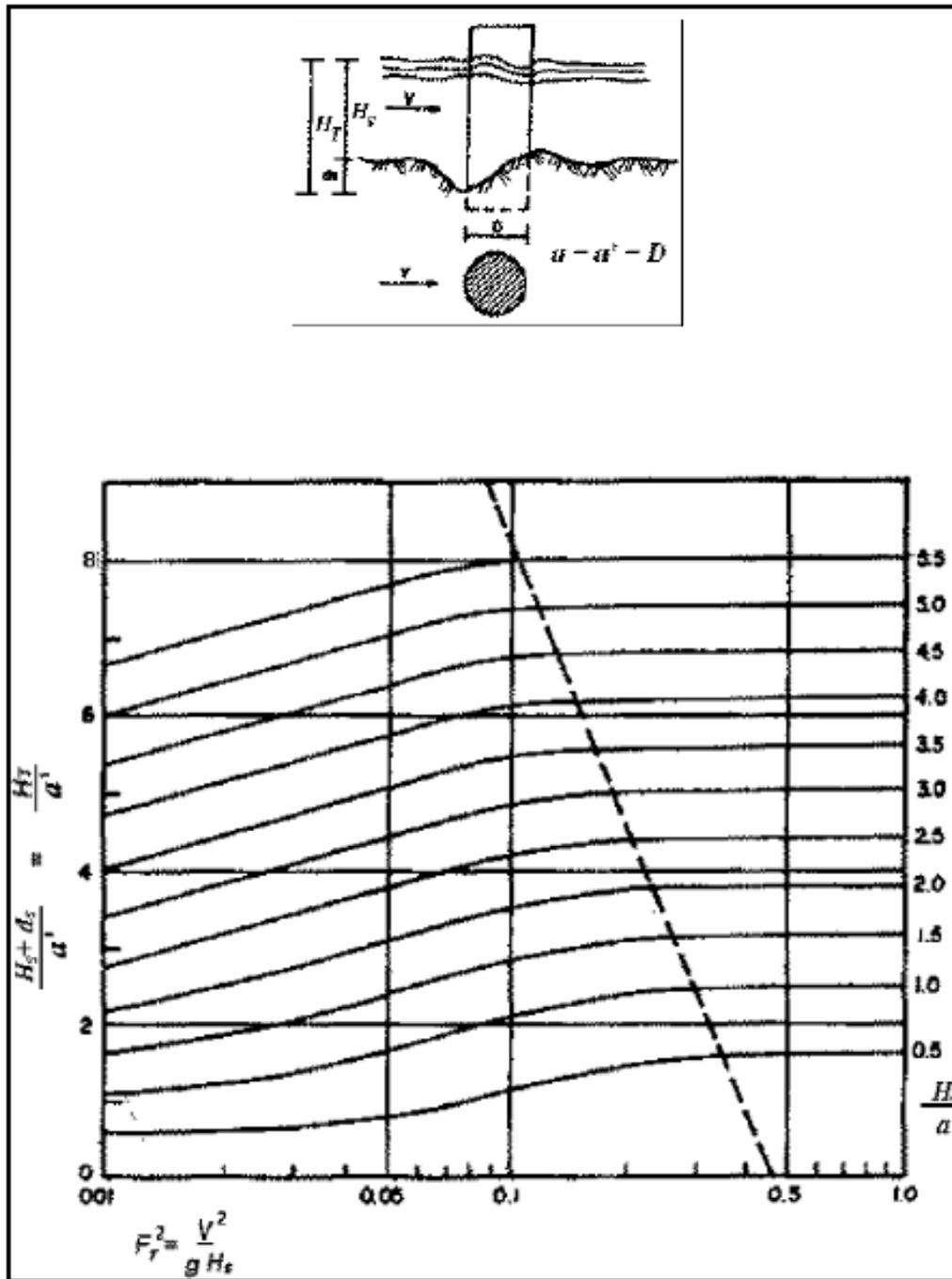


Figura 3.12 Cálculo de la socavación local para un pilar circular (Fuente: Maza Álvarez, 1987).

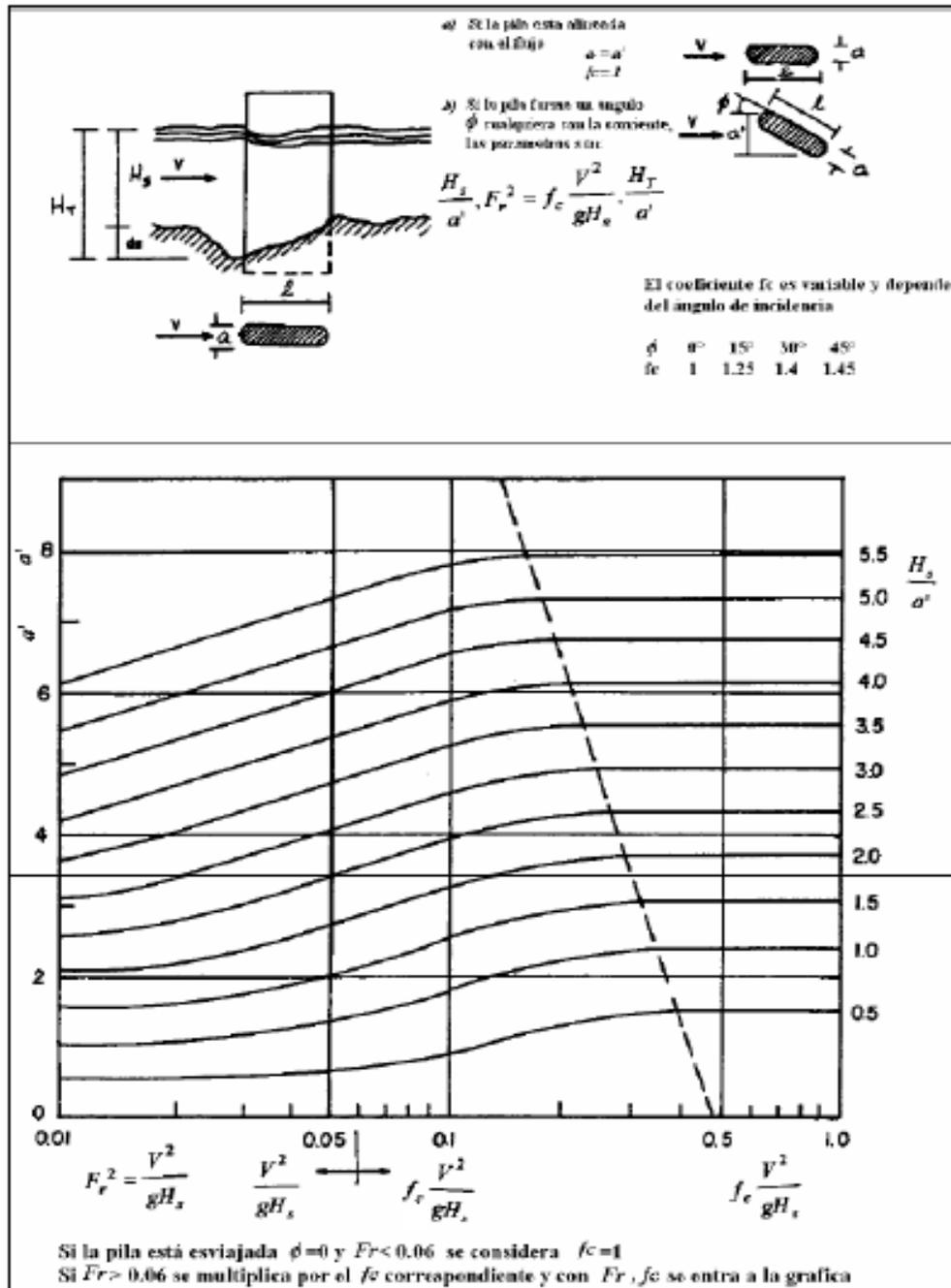


Figura 3.13 Cálculo de la socavación local en una pila elongada (Fuente: Maza Álvarez, 1987).

- Método de Froehlich (1991): una ecuación desarrollada por el Dr. David Froehlich es usada por el programa HEC-RAS (1998) como una alternativa a la ecuación de la Universidad Estatal de Colorado (CSU).

$$y_s = 0.32 K_f (a')^{0.62} h^{0.47} Fr^{0.22} D_{50}^{-0.09} + a \quad (3.5)$$

Donde:

$y_s$ : Profundidad de socavación local (m)

$K_f$ : Factor de corrección por forma del pilar. Tabla 3.2

$a'$ : Ancho proyectado del pilar con relación al ángulo de ataque del flujo (m)

$a$ : Ancho del pilar adicionado como un factor de seguridad (m)

$h$ : Profundidad de flujo aguas arriba del pilar (m)

$F_r$ : Número de Froude en la sección aguas arriba del pilar

$D_{50}$ : Diámetro de la partícula del lecho en una mezcla cuyo 50% es menor (m)

Para pilares con nariz de forma circular alineadas con el flujo, se tiene:

$$y_s \leq 2.4 a, \text{ para } Fr \leq 8.0 \quad (3.6)$$

$$y_s \leq 3.0 a, \text{ para } Fr > 8.0 \dots \dots \dots (3.7)$$

Si la profundidad de socavación se analiza para un caso particular, Froehlich sugiere que no se adicione el factor de seguridad “a” al final de la ecuación. El programa HEC-RAS siempre adiciona este factor de corrección.

Tabla 3.2 Factor de corrección  $K_f$ . (Maza Álvarez, 1987).

Forma de la pila	$K_f$
Punta cuadrada	1.3
Pila con punta circular	1.0
Pila con punta aguda o triangular	0.7

- Método de Laursen y Toch (1953, 1956): se desarrolló bajo condiciones de transporte continuo de sedimentos, en el Instituto de Hidráulica de Iowa y fue confirmado con algunas mediciones en el río Skunk realizadas por P. G. Hubbard.

Laursen y Toch realizaron investigaciones observando la máxima socavación que se puede presentar para un tirante dado de la corriente. La máxima profundidad de socavación era independiente de la velocidad del flujo, suponiendo un cambio en la velocidad del flujo y en el tamaño de los sedimentos produce un cambio proporcional en el cortante límite, y en la capacidad de transporte de sedimentos en la zona donde se produce la socavación, considerando constantes la profundidad del flujo y la profundidad de socavación. Su mayor interés era la socavación máxima y no dan ningún criterio para el caso de que no exista arrastre en el fondo. (Badillo. J. y Rodríguez, R. 1992).

Los resultados fueron presentados en forma gráfica y se resumen en las siguientes ecuaciones:

1. Caso del flujo de agua paralelo al eje mayor del pilar:

$$d_s = K_f \cdot K_g a \quad (3.9)$$

Donde:

$d_s$  = profundidad de socavación local medida a partir del fondo del cauce

$K_f$  = sería el coeficiente que depende de la forma de la nariz del pilar

$K_g$  = coeficiente que depende de la relación  $H_s/a$ ,

$H_s$  = profundidad del agua después de producida la socavación por contracción y por último  $a$  es el ancho del pilar.

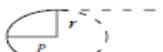
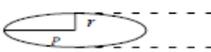
FORMA DE LA NARIZ		COEFICIENTE $K_f$ DE SCHNEIBLE
<b>RECTANGULAR</b> $l/a = 4$		1.00
<b>SEMICIRCULAR</b>		0.90
<b>ELIPTICA</b>	$\frac{p}{r} = \frac{2}{l}$ 	0.81
	$\frac{p}{r} = \frac{3}{l}$	0.75
<b>LENTICULAR</b>	$\frac{p}{r} = \frac{2}{l}$ 	0.81
	$\frac{p}{r} = \frac{3}{l}$	0.69
FORMA DE LA NARIZ		SEGÚN TISON
<b>BISELADA</b> $l/a = 4$		0.78
<b>PERFIL HIDRODINAMICO</b> $l/a = 4$		0.75

Figura 3.14 Coeficiente  $K_f$ . (Juárez de Badillo E. y Rico Rodríguez A. 1992).

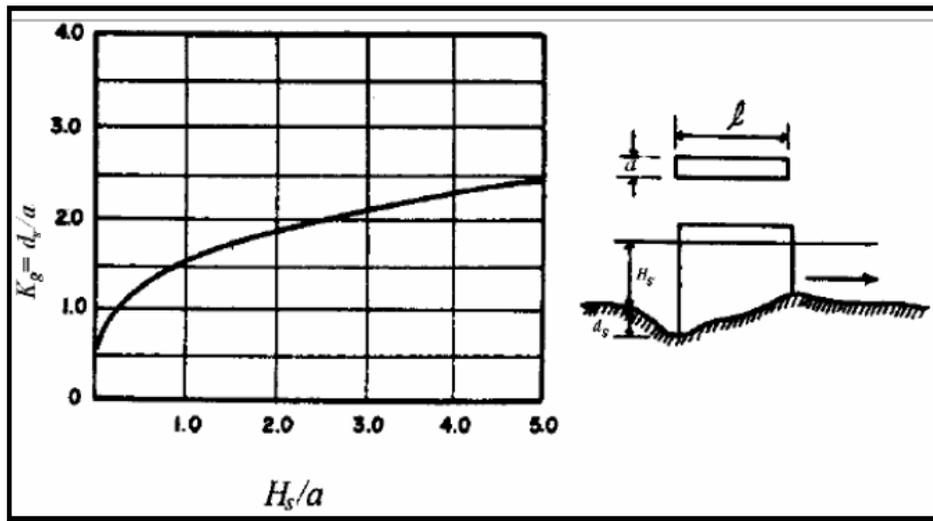


Figura 3.15 Coeficiente  $K_g$ . Método Laursen y Toch. (Juárez y Rico, 1992).

2. Caso de flujo de agua con ángulo de ataque al eje de mayor dimensión del pilar.

$$d_s = K_f \cdot K_\varphi \cdot a \quad (3.10)$$

Donde:

$K_\varphi$  = coeficiente que depende del ángulo de ataque del flujo y de la geometría del pilar, en este caso la socavación no dependerá de la forma del pilar.

Ettema, R. (1990), plantea que las curvas de la Figura 3.2 sugeridas por Laursen y Toch en 1956, presentan una inconsistencia asociada con los ángulos de ataque de  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , puesto que considera que el efecto del coeficiente  $K_\varphi$  debe ser el mismo si se toma un ángulo de ataque de  $90^\circ$  y el ancho del pilar, o si se considera un ángulo de  $0^\circ$  y el largo del pilar.

- Método de Yaroslaztiev: el autor propone como fórmula para el cálculo de la socavación máxima frente a la pila:

$$S = K_f K_v (\alpha + K_h) \left( \frac{V^2}{2g} \right) - 30d \quad (3.16)$$

Donde:

$S$ : socavación máxima frente a la pila (m)

$K_f$ : Coeficiente de forma (Figura 3.6)

$K_v$ : Coeficiente función de  $V^2/gb_1$  (Figura 3.7)

$\alpha$ : Coeficiente de ubicación que varía de 0.6 para pilas colocadas en el cauce principal a 1 para pilas colocadas en el cauce de expansión o avenidas.

$K_h$ : Coeficiente función de  $y/b$  (Figura 3.8)

$V$ : Velocidad del agua frente a la pila (m/s)

$g$ : aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$d$ : diámetro medio del material de fondo (cm)

$b_1$ : longitud de la proyección de la pila sobre un plano normal a las líneas de corriente (Figura 3.7)

$Y$ : Tirante aguas arriba de la pila (m)

La fórmula anterior tiene las siguientes limitaciones:

Si  $d < 0.5$  cm, no se toma en cuenta el valor  $30 d$ .

Si  $Y/b < 2$ , entonces el valor de  $S$  no es confiable.

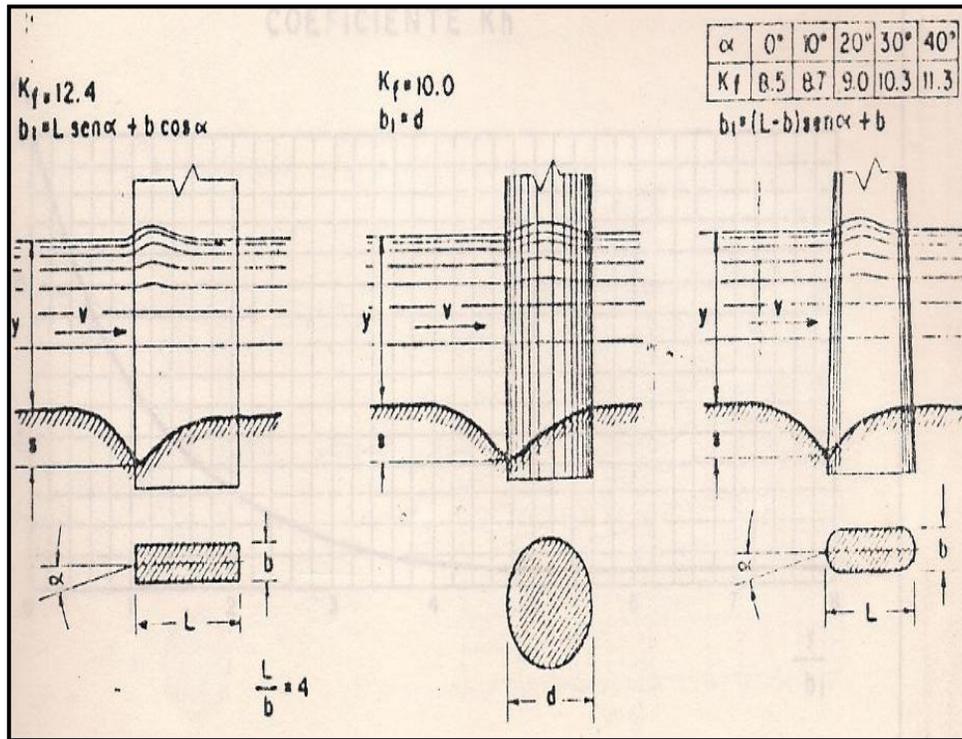


Figura 3.16 Coeficiente  $K_f$  (Falcón, 1990).

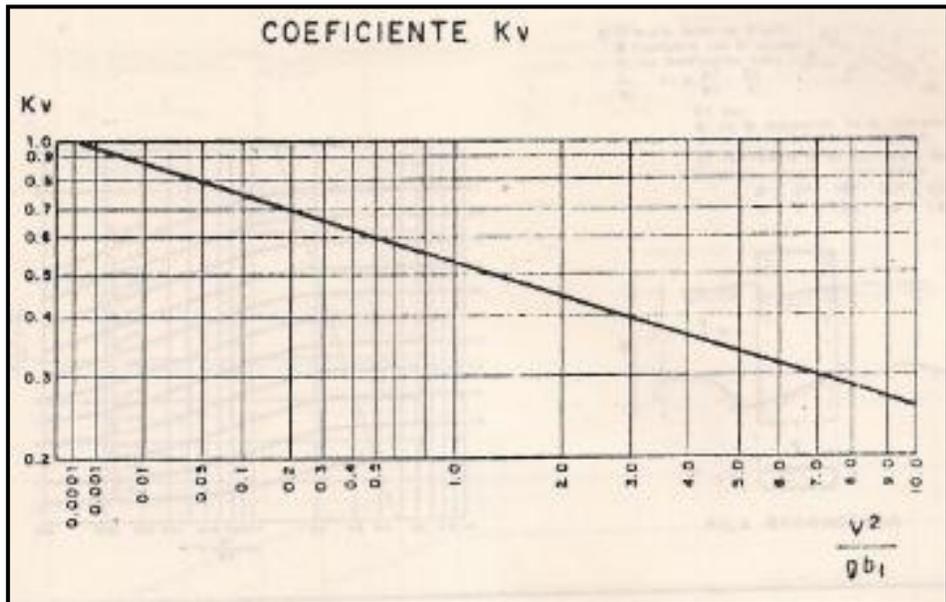


Figura 3.17 Coeficiente  $K_v$  (Falcón, 1990).

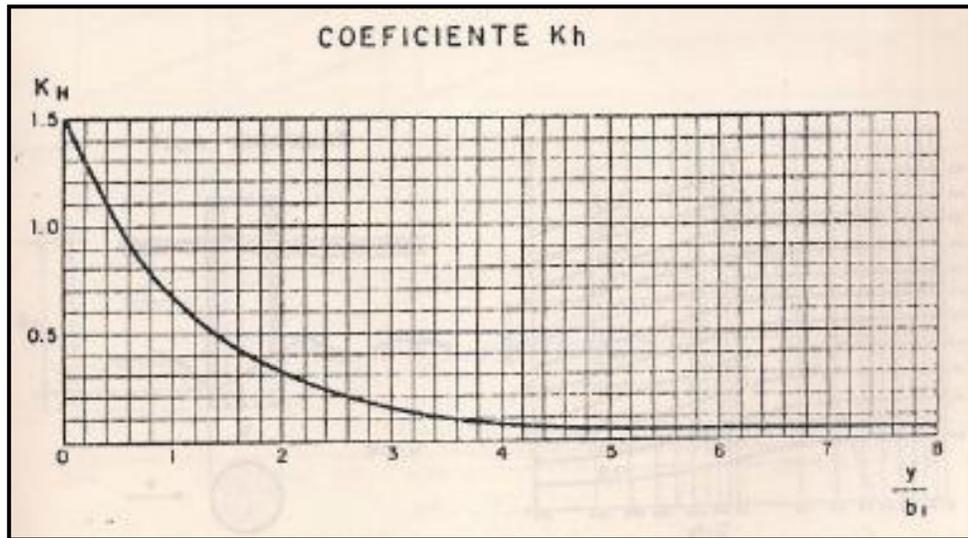


Figura 3.8 Coeficiente  $K_H$  (Falcón, 1990).

- **Método de Colorado State University:** Richardson (1975) propuso la ecuación siguiente para la estimación de la socavación al pie de la pila:

$$Y_s/y_1 = 2 K_1 K_2 (a/y_1)^{0.65} Fr_1^{0.43} \dots\dots\dots(3.30)$$

Donde:

$Y_s$ : profundidad de socavación

$Y_1$ : profundidad de la corriente aguas arriba de la pila

$K_1$ : Factor de corrección por forma de la pila (Tabla 3.3)

$K_2$ : Factor de corrección por ángulo de ataque del flujo (Tabla 3.4)

$a$ : ancho de la pila

$Fr_1$ : Número de Froude =  $V_1/(g y_1)^{0.5}$

$V_1$ : Velocidad aguas arriba de la pila

Tabla 3.3 Factor  $K_1$ 

Forma de la pila	$K_1$
De nariz cuadrada	1.1
De nariz redondeada	1.0
Cilíndrica	1.0
De nariz puntiaguda	0.9
Grupo de cilindros	1.0

Tabla 3.4 Factor  $K_2$ 

Angulo	$L/a = 4$	$L/a = 8$	$L/a = 12$
0	1.0	1.0	1.0
15	1.5	2.0	2.5
30	2.0	2.5	3.5
45	2.3	3.3	4.3
90	2.5	3.9	5.0

Donde:

L: longitud de la pila

Ángulo: entre el eje de la pila y la dirección de la corriente

### 3.3 Bases legales

Para el área de estudio en la que se realizará el proyecto de investigación, existen fundamentos legales en los que se pueden basar los diferentes estudios dentro de cual se puede mencionar:

### **3.3.1 Ley Orgánica del Ambiente (2006)**

#### **3.3.1.1 Conservación del suelo y del subsuelo**

Artículo 62: la gestión para la conservación del suelo y del subsuelo debe realizarse atendiendo a los lineamientos siguientes:

1. La clasificación de los suelos en función de sus capacidades agroecológicas.
2. El uso y aprovechamiento del suelo y del subsuelo debe realizarse en función a su vocación natural, la disponibilidad y acceso a las tecnologías ambientalmente seguras, a fin de evitar su degradación.
3. La adopción de medidas tendientes a evitar y corregir las acciones que generen erosión, salinización, desertificación o modificación de las características topográficas y otras formas de degradación del suelo y del paisaje.
4. La restauración y recuperación del suelo y del subsuelo que haya sido afectado por la ejecución de actividades.

#### **3.3.1.2 Registro de información ambiental**

Artículo 66: La Autoridad Nacional Ambiental establecerá y mantendrá un Registro de Información Ambiental, el cual deberá contener los datos biofísicos, económicos y sociales, así como la información legal, relacionados con el ambiente.

Los datos del registro son de libre consulta y se deberán difundir periódicamente por medios eficaces cuando fueren de interés general.

### **3.3.1.3 Alcance del Registro de Información Ambiental**

Artículo 67: El registro al que se refiere el artículo anterior deberá contener al menos los siguientes aspectos:

1. Los inventarios de sistemas ambientales.
2. Los inventarios de recursos hídricos.
3. Los inventarios del recurso suelo.
4. Los inventarios de diversidad biológica y sus componentes.
5. Los inventarios forestales.
6. Los inventarios de cuencas hidrográficas.
7. El inventario de fuentes de emisión y contaminación de suelos, aire y agua.
8. La información sobre áreas bajo régimen de administración especial.
9. La información hidrometeorológica e hidrogeológica.
10. La información jurídica de leyes, decretos y resoluciones vigentes en materia ambiental.
11. Información cartográfica.

12. La información sobre el hábitat y tierras de los pueblos y comunidades indígenas debidamente.

13. Demarcadas.

14. Cualesquiera otras, de interés para la gestión del ambiente y el desarrollo sustentable.

### **3.3.2 Ley de Aguas (2007)**

#### **3.3.2.1 Formas de control y manejo**

Artículo 12: El control y manejo de las aguas se realizara mediante:

1. La clasificación de los cuerpos de agua o sectores de estos, atendiendo a su calidad, usos actuales, y potenciales.

2. El establecimiento de rangos y límites máximos de elementos contaminantes en los afluentes líquidos generados por fuentes puntuales.

3. Establecimiento de condiciones y medidas para controlar el uso de agroquímicos y otras fuentes de contaminación no puntuales.

4. La elaboración y ejecución de programas maestros de control y manejo de los cuerpos de agua, donde se determinen las relaciones causas - efectos entre fuentes contaminantes y problemas de la calidad de aguas.

La clasificación de los cuerpos de aguas y la aprobación de los programas maestros de control y manejo de los mismos, los cuales se podrán realizar conjunta o

separadamente con los planes de gestión integral de las aguas en el ámbito de las cuencas hidrográficas.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DEL TRABAJO**

Al iniciar un trabajo de investigación es necesaria una metodología que posea los principios esenciales de una serie de etapas para lograr el objetivo planteado culminándolo de la mejor manera posible y obteniendo los datos y beneficios buscados.

#### **4.1 Tipo de investigación**

La investigación descriptiva, según Tamayo, M., (2001): “comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos”. La investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hechos y su característica fundamental es la de presentarnos una interpretación correcta.

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de un fenómeno específico que se somete a un análisis”. La investigación se cataloga de tipo descriptiva debido a que en ella se describirán las características sedimentológicas, estratigráficas, estructurales y ciertos aspectos geológicos importantes de los miembros en estudio.”

En el caso de la presente investigación se considera que es de carácter descriptivo por cuanto se hará una descripción de los parámetros climáticos, parámetros texturales de los sedimentos, parámetros hidráulicos del río Santa Bárbara, parámetros dimensionales y geométricos de las pilas y las relaciones entre estas y los parámetros anteriores sin plantear modificación o alteración de ellos.

La investigación descriptiva se refiere minuciosamente a interpretar lo que es. Está relacionada a condiciones o conexiones existentes prácticas que prevalecen, puntos de vistas, actitudes que se mantienen procesos en marcha, afectos o tendencias que se desarrollan. A veces la investigación descriptiva concierne a todo lo que es, lo que existe, se relaciona con algún hecho precedente, que haya influido o afectado una condición o hecho presente.

## **4.2 Diseño de investigación**

El diseño de la investigación, constituye un plan estructurado de acción que en función de unos objetivos básicos está orientado a la obtención de datos relevantes a los problemas e indicadores planteados. El diseño de la investigación para Balestrini, M. (2001) Se define como:

“Un plan global de investigación que integra de un modo coherente y adecuadamente correcto, técnicas de recogida de datos utilizar, análisis previstos, y objetivos... (omisis), dar de una manera clara y no ambigua respuestas a las preguntas planteadas”. (p. 131).

En cuanto al tipo de diseño corresponde a un diseño documental y de campo.

### **4.2.1 Investigación documental**

Se trata de una investigación documental según lo planteado por Bernal (2006), este tipo de investigación consiste en un análisis de la información escrita sobre un denominado tema, con el propósito de establecer relaciones, diferencias, etapas, posturas o estado actual del conocimiento respecto del tema objeto de estudio. (p. 110).

Esta investigación es documental porque la información como los datos climatológicos fueron obtenidos, analizados y procesados a partir de los registros

medidos, registrados y almacenados por el Estado Venezolano, específicamente por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y la ubicación geográfica por medio de documentos cartográficos provenientes de la Alcaldía del Municipio Heres y de los mapas emitidos por Cartografía Nacional.

#### **4.2.2 Investigación de campo**

La investigación de campo según Hernández, y otros (2008); señalan que: “Es la que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de investigación donde no hace variar intencionalmente las variables independientes”. (p. 184).

Esta investigación se desarrolla en un nivel de campo porque los datos se recogen en el medio donde se producen y existen, por lo que el investigador debe trasladarse al lugar donde se producen los hechos y disponer de las técnicas e instrumentos apropiados para la recolección. En la investigación se tomarán los datos topográficos, los dimensionales y geométricos de las estructuras civiles y los de velocidades de corrientes, directamente en el área de estudio, entre otras informaciones de interés.

#### **4.3 Población de la investigación**

La población se define a través del universo que es objeto de estudio, en este sentido constituye según Handam (1986):

“El conjunto de unidades físicas (personas u objetos) a los cuales se mide una o más características constituye el universo pudiendo obtenerse diferentes poblaciones de características distinta”. (p. 29).

Para fines de esta investigación, la población de la investigación se considera de carácter infinito y estaría representada por los sedimentos, el agua y los eventos de carácter antrópico que se encuentren en la cuenca media del río Santa Bárbara, en el área de estudio.

#### 4.4 Muestra de la investigación

Bavaresco (2006), refiere que “cuando se hace difícil el estudio de toda la población, es necesario extraer una muestra, la cual no es más que un subconjunto de la población, con la que se va a trabajar”. (p. 92).

En este caso, la muestra estará representada por cuatro (4) ejemplares de suelos muestreados (Tabla 4.1 y Figura 4.1) que han sido arrastrados por el río Santa Bárbara y que han sido colectados para su posterior análisis textural en laboratorio. Bajo un criterio no probabilístico u opinático; es decir, a criterio del investigador, debido a la homogeneidad de los materiales presentes en el cauce y riberas del citado río en el área de estudio.

Tabla 4.1 Coordenadas UTM de ubicación de las muestras de suelos tomadas en el río Santa Bárbara.

Punto	Norte	Este
M1	436895	896899
M2	436890	896889
M3	436884	896880
M4	436875	896869



Figura 4-1 Mapa de ubicación de sitios de muestreo de suelos.

### **4.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **4.5.1 Técnicas de recolección de datos**

Según Hurtado (2008), “las técnicas de recolección de datos comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener la información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación”. (p. 153).

##### **4.5.1.1 Observación directa**

La observación directa, según Arias, F. (2006), es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad.

En ese orden de ideas, se considera que las inspecciones y mediciones de carácter geológico, geomorfológico, topográfico e hidráulico efectuadas en campo forman parte de lo que se conoce como observación directa

##### **4.5.1.2 Revisión documental**

La técnica de revisión documental según Hurtado (2008) se define como “una técnica en la cual se recurre a la información escrita, ya sea bajo la forma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros, o como textos que en sí mismos constituyen los eventos de estudio”. (p. 247).

Se recurrirá a la recopilación de datos, a través de la consulta de textos, tesis, manuales de aplicaciones computarizadas extraídas de la internet. También a través del servicio electrónico de Internet se realizarán consultas para obtener información actual con respecto al tema investigado.

#### **4.5.2 Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de investigación según Sabino, C. (2000), “son los recursos de que puede valerse el investigador para acercarse a los problemas y fenómenos, y extraer de ellos la información: formularios de papel, aparatos mecánicos y electrónicos que se utilizan para recoger datos o información, sobre un problema o fenómeno determinado. Cuestionario, termómetro, escalas, hidrogramas, entre otros”.

Los instrumentos utilizados a objeto de realizar una recolección apropiada de la información, para alcanzar los resultados de la investigación serán:

1. GPS
2. Cámara fotográfica digital
3. Correntómetro
4. Equipo topográfico: Nivel Abney (clinómetro), brújula, cinta métrica y jalón.
5. Equipo de computación: computadora portátil, impresora y escáner.
6. Equipo de toma de muestreo de suelos
7. Equipo de laboratorio: tamizadora, balanza, horno, tamices, lupa y lámpara.

#### **4.4 Procedimiento para el logro de los objetivos**

A continuación, se describirán las actividades que se han de realizar para dar cumplimiento al completo desarrollo y logro de cada uno de los objetivos específicos planteados en la investigación.

#### **4.4.1 Caracterización climatológica de la zona de estudio**

La caracterización climatológica del área de estudio corresponderá basarse en la descripción de las variables siguientes: precipitación, evaporación, temperatura, e infiltración. A tal resultado, se utilizarán los valores de dichos parámetros disponibles

#### **4.4.2 Descripción geomorfológica de la zona de estudio**

Para conseguir y conocer el logro de este objetivo específico será necesario realizar un reconocimiento visual del área de estudio y ejecutar durante ella, un levantamiento topográfico plani-altimétrico con cuyos datos se construirá un plano topográfico y las secciones transversales respectivas del cauce del río y de sus riberas. Con tales herramientas se procederá a generar la descripción geomorfológica del área de estudio.

#### **4.4.3 Determinación de las características hidráulicas del río Santa Bárbara**

El proceso para determinar las características hidráulicas del río Santa Bárbara involucra la realización de las siguientes actividades:

**a.** Delimitación de la cuenca con la determinación de su área total y su perímetro. Adicionalmente, se delimitarán y calcularán las diferentes áreas que componen la cuenca según sean las condiciones de su superficie.

**b.** Determinación de los coeficientes de escorrentía que se corresponden con las superficies de las áreas delimitadas dentro de la cuenca.

**c.** Determinación de los tiempos de concentración correspondientes a cada superficie cuantificada. Arocha (1983), presenta una ecuación aportada por la

California Culvert Practice que permite estimar el tiempo de concentración ( $T_c$ ) en minutos:

$$T_c = 0,0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (4.1)$$

Donde:

L: longitud del cauce más largo L en metros

H: diferencia de elevación entre el punto más remoto de la cuenca y la salida de la misma H en metros. (p. 207 a 208).

**d.** Determinación de la intensidad de lluvia para cada área delimitada considerando las curvas de intensidad, duración y frecuencia de la zona de ciudad Bolívar.

**e.** Determinación del caudal de drenaje que aportará la cuenca delimitada mediante el uso de la ecuación del Método Racional.

**f.** Determinación de los parámetros hidráulicos (velocidad, caudal, nivel de la superficie del agua, número de Froude, nivel de la línea de energía, pendiente hidráulica, etc.) y elementos geométricos (profundidad, profundidad hidráulica, radio hidráulico, ancho entre márgenes, pendiente del lecho, etc.) para cada sección transversal evaluada considerando al menos tres escenarios: para las condiciones existentes en el momento de la inspección de campo, para períodos de retornos de 25 años y para 50 años.

#### **4.4.4 Distribución granulométrica de los sedimentos del lecho**

Se efectuará a las muestras recolectadas en la zona de estudio, análisis granulométrico (de acuerdo a la Norma ASTM D 422 y ASTM D 421) para construir sus respectivas curvas de distribución granulométrica.

#### **4.4.5 Socavación local potencial al pie de las pilas del puente**

Esta evaluación se realizará utilizando para tal fin los métodos propuestos por Laursen y Toch, por Maza – Sánchez, por Froehlich, Yaroslaziev y Colorado State University. Adicionalmente, se considerarán varias condiciones de flujo: los medidos para el momento de la fiscalización de campo, para un período de retorno de 25 años y para un período de retorno de 50 años.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1 Descripción de las dimensiones y geometría de las pilas, estribos del puente sobre el río Santa Bárbara**

El puente sobre el río Santa Bárbara, ubicado en la calle 3 entre los sectores Las Flores y Perú Viejo 1, Ciudad Bolívar, municipio Angostura del Orinoco, estado Bolívar, Venezuela, está conformado en realidad por dos (2) puentes estructuralmente independientes, a los cuales se les denominará puente Norte (con sentido vial hacia Las Flores) y el puente Sur (con sentido vial hacia el sector Perú Viejo 1). El puente Norte es de tipo Losa, la cual se encuentra simplemente apoyada sobre apoyos llamados estribos (ubicados a los extremos del puente), y en las pilas intermedias del puente (cuya función es salvar la parte central del puente, debido a sus grandes luces), el mismo tiene apoyos, juntas, drenaje, barandas, entre otras cosas; mientras que el puente Sur es de tipo vigas, ya que su tablero de rodamiento se encuentra soportado por tres (3) grandes vigas doble T de acero.

- a. Longitud de ambos puentes= 20 metros entre estribos
- b. Ancho del puente= 12.90 metros.

Cada puente, esta soportado por dos (2) estribos, cada uno ubicado en un extremo de la obra civil y por dos (2) sistemas de pilas de fundaciones, cada sistema está conformado por diez (10) pilotes, un (1) cabezal, y un (1) pilar de sección rectangular, sobre los cuales se posa la losa o las vigas, según sea el caso, que sostienen la estructura vial por la cual transitan los vehículos.



Figura 5.1 Estructura del puente Las Flores vista desde el río Santa Bárbara.

### **5.1.1 Descripción de las dimensiones de los estribos del puente**

Los estribos del puente, sobre los cuales se posa la losa o las vigas, según sea el caso, tienen un diseño sencillo. Los estribos del puente Las Flores, poseen un largo de 12.90 metros, medidos en dirección transversal a la vía, una altura mayor a 2,50 metros, y un ancho desconocido que une la carretera con la sección del puente.

### **5.1.2 Descripción de las dimensiones de las pilas de fundación del puente**

En cuanto al sistema de pilas de fundación, cada puente (Norte y Sur) tienen cimentaciones profundas, que salvan las estructuras de los mismos en su parte central, debido a que poseen grandes luces, y podemos observar que las 2 (dos) cimentaciones existentes en cada puente, trabajan de la siguiente manera:

Como se indicó anteriormente, el puente Las Flores en realidad está constituido por dos (2) puentes independientes (uno para cada sentido de tráfico vial). Se denominarán en esta investigación Puente Sur (aguas arriba) y puente Norte (ubicado aguas abajo). El puente Norte (construido en el año 2016) es un puente tipo Losa; mientras que el puente Sur es tipo vigas cuyo soporte de la plataforma de rodamiento está constituido por tres (3) vigas doble T (Figuras 5.2 y 5.3).



Figura 5.2 Vigas de soporte del puente Las Flores Sur.



Figura 5.3 Soporte tipo losa y pila del puente Las Flores Norte.

Cada puente posee dos (2) pilas centrales de sección rectangular de extremos redondeados de 1.50 m de ancho, de 5.00 m de largo y 2.50 m de altura; cada pila está construida sobre un cabezal de forma paralelepípedica de 6.00 m de largo, 2.50 m de ancho y 0.50 m de espesor. Este cabezal descansa sobre un sistema de diez (10) pilotes hincados alineados en dos (2) filas de cinco (5) pilotes a ambos lados del cabezal. Cada pilote posee un diámetro de 0.40 m, aunque se desconoce su profundidad de hincado (Figuras 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7).

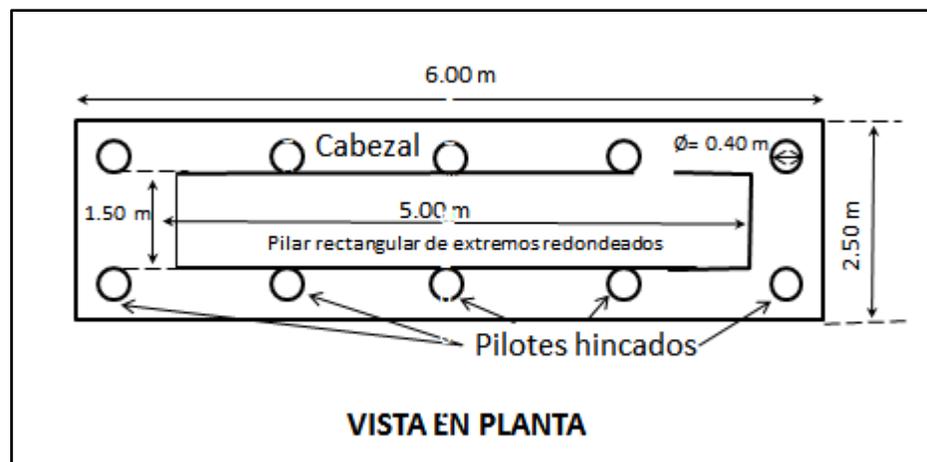


Figura 5.4 Vista en planta de sistema de pilas de fundación del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara. Croquis sin escala.

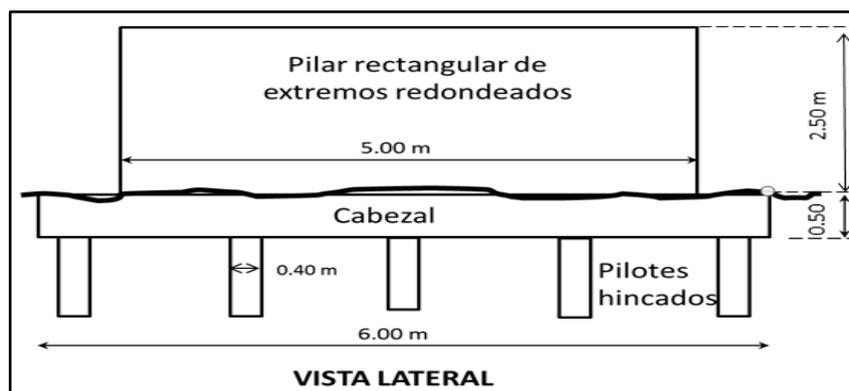


Figura 5.5 Vista lateral del sistema de pilas del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara. Dibujo sin escala.

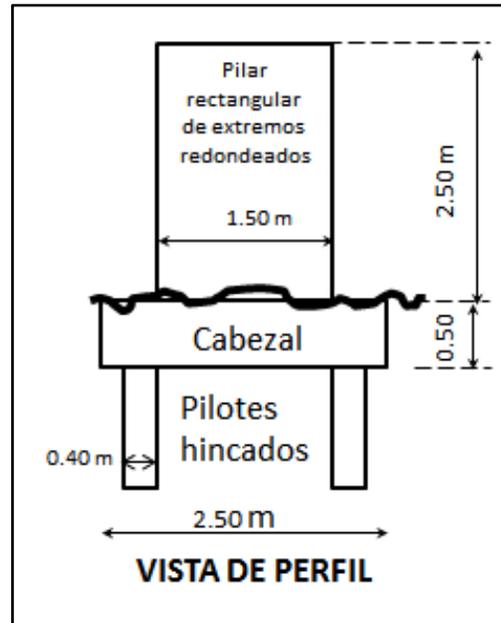


Figura 5.6 Vista de perfil sistema de pila de fundación puente Las Flores. Dibujo sin escala.

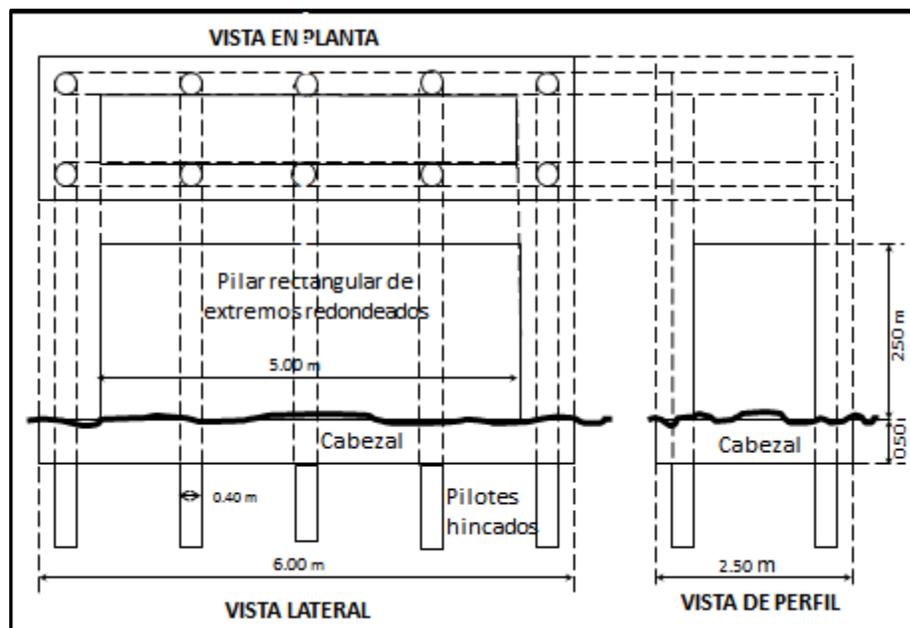


Figura 5.7 Croquis de uno de los sistemas de pilas de fundación del puente.



Figura 5.8 Pila y estribo oriental del puente

## 5.2 Caracterización climatológica de la zona de estudio

Para caracterizar climatológicamente el área de estudio se consideraron las tres (3) variables meteorológicas fundamentales que podrían incidir en la variación de los caudales del río Santa Bárbara: Precipitación, Evaporación y Temperatura, medias mensuales respectivamente. Esta información climatológica fue medida de la Estación: Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Tipo C1, Serial: 3882, administrada por el componente de Aviación Militar de las Fuerzas Armadas Bolivariana. Así mismo, la información climatológica es administrada por el Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMEH). Debido a que la información suministrada por los entes oficiales anteriormente indicados no se ha actualizado desde hace varios años, para complementar, se descargó información climatológica del servidor Giovanni de la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Giovanni es un portal web desarrollado por el Centro de Datos de Información y Servicios de Ciencias de la Tierra

Goddard (GES DISC) de la NASA que proporciona una forma sencilla e intuitiva de visualizar, analizar y acceder a grandes cantidades de datos de ciencias de la Tierra. *Giovanni* es un acrónimo de *Geospatial Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure*. El servidor Giovanni contiene valores, que incluyen datos de satélites, datos de radares y datos de modelos climáticos. Los datos están disponibles para todo el mundo y se actualizan regularmente.

### 5.2.1 Precipitación

Se recaudó información de precipitación correspondiente al lapso comprendido 1.987-2007 (20 años). La Tabla 5.1, muestra los valores medios (MED), máximos (MÁX) y mínimos (MÍN) de la precipitación medida en la Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto. Mientras que la Figura 5.9 se muestra la precipitación media anual para el período considerado. En la que dicha precipitación para el período analizado, registrada en la estación climatológica Ciudad Bolívar-Aeropuerto corresponde a 83.13 mm. En la figura 5.10 se muestra el gráfico con los valores de precipitación mensual para el área de Ciudad Bolívar, período 1998-2019, descargados del servidor Giovanni.

Tabla 5.1 Precipitación media mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.012. (INAMEH).

Prec.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>MED.</b>	17.6	11.0	11.3	22.6	102.9	161.2	184.9	159.8	114.3	87.9	72.0	52.1	83.13
<b>MÁX.</b>	131.0	93.0	120.0	150.0	357.0	376.0	495.0	507.0	332.0	620.0	310.0	420.0	325.9
<b>MIN.</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	41.0	31.0	33.0	6.0	13.0	6.0	3.0	11.25

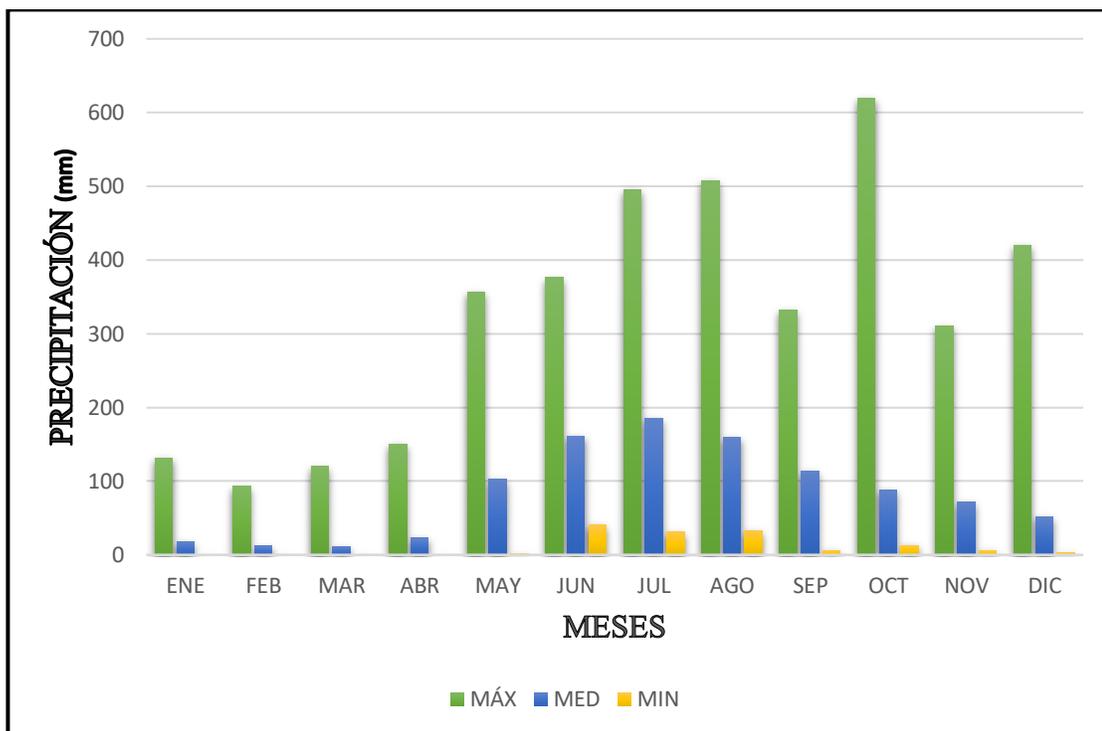


Figura 5.9 Precipitación máxima, media y mínima mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.012. (INAMEH).

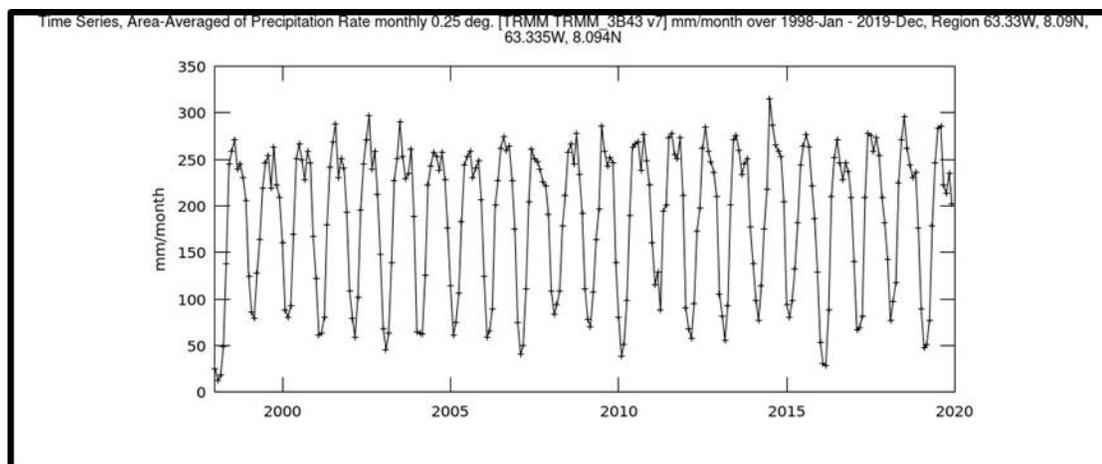


Figura 5.10 Precipitación mensual en (mm/mes). Área Ciudad Bolívar, Edo. Bolívar. Período 1.998 – 2.019. (Servidor Giovanni).

La precipitación, responde a un régimen de tipo unimodal, es decir, presenta un valor medio máximo de lluvia para el mes de julio y un mínimo para el mes de febrero. La época de lluvia se inicia en el mes de mayo y se mantiene hasta el mes de diciembre; con una duración de ocho meses, siendo el mes de junio el más lluvioso en promedio para el período climático considerado.

### 5.2.2 Evaporación

Por causa de que la estación climatológica Ciudad Bolívar-Aeropuerto, no mide evaporación al sol, fue necesario utilizar los datos de la Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659, actualmente eliminada y ubicada en el poblado de Soledad, a la salida del Puente Angostura.

En la tabla 5.2 se muestra los valores medios (MED), máximos (MÁX) y mínimos (MÍN) de evaporaciones anuales de la estación Punta Tamarindo –Estado Anzoátegui. Seguidamente la Figura 5.11 muestra la evaporación media anual para el período considerado

Tabla 5.2 Evaporación media mensual en (mm). Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659 – Estado Anzoátegui. Período 1.987 – 2012 (INAMEH).

Evap.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>MED.</b>	212.1	228.5	274.4	252.1	237.9	164.0	171.6	185.3	193.7	206.0	195.6	193.5	210.4
<b>MÁX.</b>	276.2	321.2	388.0	345.0	337.1	278.3	237.7	246.5	266.7	280.8	276.2	260.3	292.0
<b>MIN.</b>	172.1	209.8	194.7	195.6	134.2	207.6	161.7	155.2	174.0	188.6	208.0	191.0	186.7

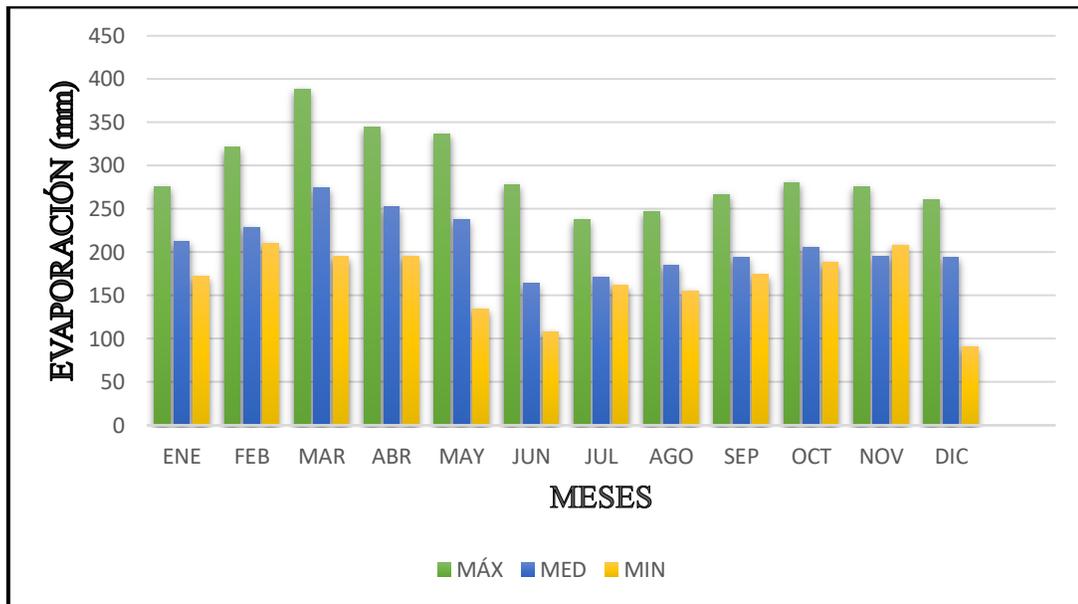


Figura 5.11 Evaporación Media mensual en (mm). Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659 – Estado Anzoátegui Período 1.987 – 2012 (INAMEH).

En la Figura 5.11, se observa que el parámetro evaporación indica a un régimen de tipo unimodal, es decir, muestra un máximo de evaporación mensual de 274.4 mm para el mes de marzo y otro secundario de 252.1 mm en el mes de abril. El valor mínimo de evaporación es de 171.6 mm en el mes ocurre de julio. El valor total anual es de 2.524.8 mm y la media anual de 190.6 mm.

En la figura 5.12 se tiene la gráfica con los valores de evaporación terrestre descargados del servidor Giovanni para el período 1980- 2023

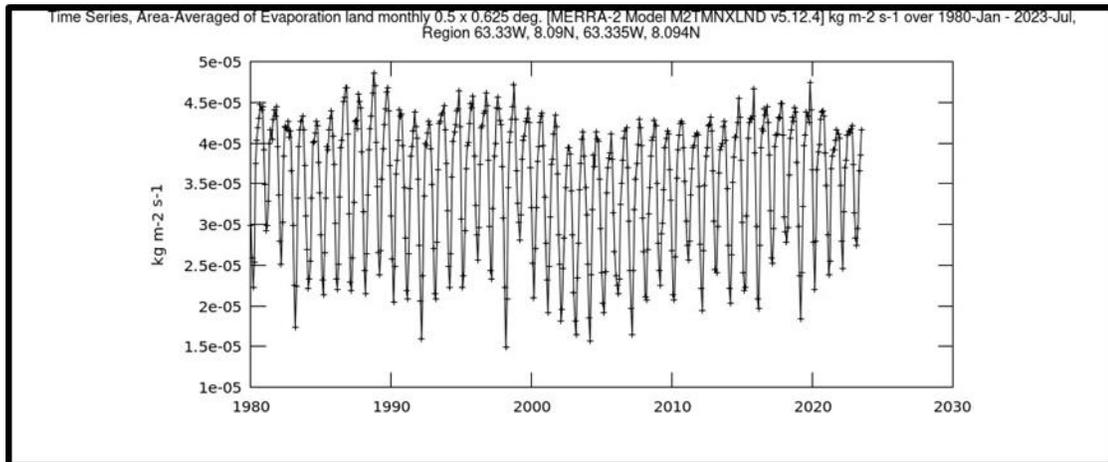


Figura 5.12 Evaporación mensual en ( $\text{Kg}/\text{m}^2\text{s}$ ). Área Ciudad Bolívar, Edo. Bolívar. Período Enero 1.980 – Julio 2.023. (Servidor Giovanni).

### 5.2.3 Temperatura media mensual

Para caracterizar la temperatura media del aire, se utilizaron datos medidos en la estación: climatológica Ciudad Bolívar-Aeropuerto.

La Tabla 5.3 muestra los valores medios (MED), máximos (MAX) y mínimos (MIN) anuales de temperatura de la estación considerada.

Tabla 5.3 Temperatura media mensual en ( $^{\circ}\text{C}$ ). Estación: Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1987–2012 (20 Años). (INAMEH).

Temp.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>MED.</b>	25.1	25.1	26.2	26.7	26.7	25.7	25.5	25.7	26.9	26.3	25.9	25.3	25.9
<b>MÁX.</b>	29.3	29.5	29.8	31.4	31.0	29.0	29.0	29.7	30.3	30.4	30.6	29.0	29.9
<b>MIN.</b>	25.1	25.8	25.9	26.6	26.1	25.9	23.0	23.7	26.2	25.4	25.4	24.8	25.3

La Figura 5.13, muestra la Temperatura media anual del período climatológico considerado.

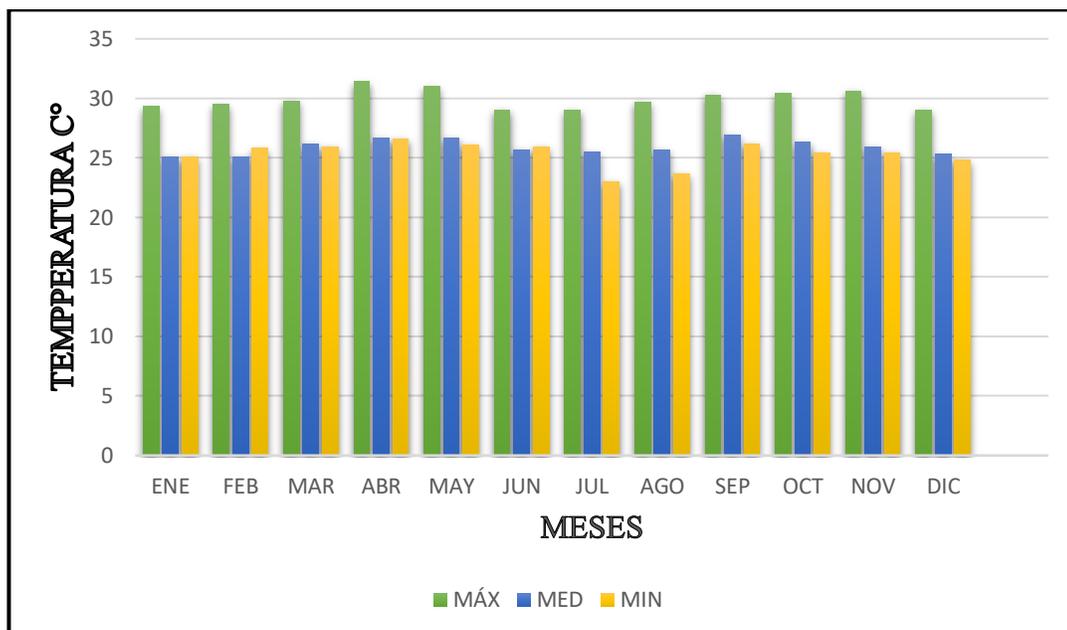


Figura 5.13 Temperatura media mensual en (C°). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.012 (INAMEH).

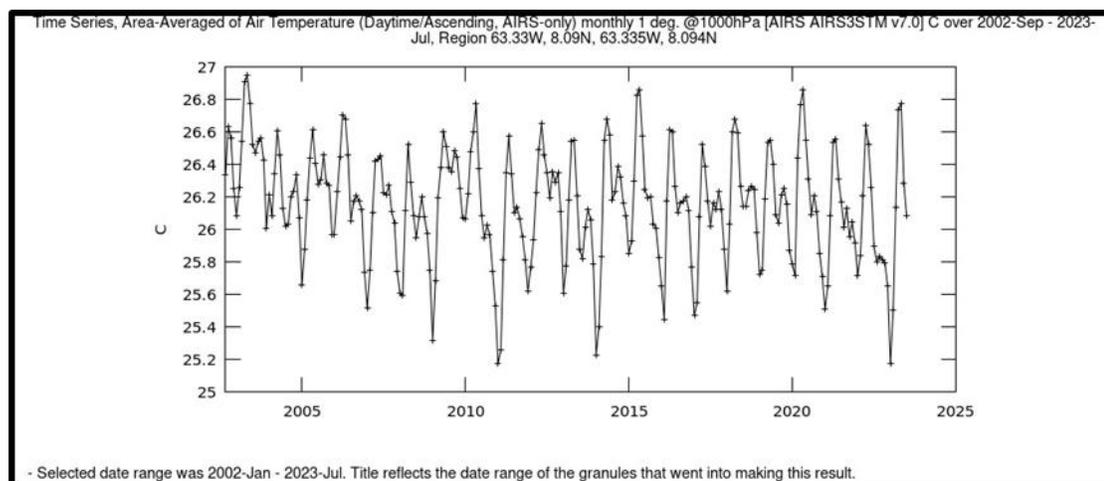


Figura 5.14 Temperatura para el área de Ciudad Bolívar. Período Septiembre 2002 – Julio 2.023. (Servidor Giovanni)

De los estudios del record de datos de temperaturas medias mensuales y del gráfico de la distribución temporal, se puede concluir lo siguiente:

La temperatura media espacial del aire, para el período climatológico estudiado promedio espacial para la zona de influencia es de 25.9 °C.

La temperatura media satisface a un régimen térmico de tipo unimodal, es decir, presenta un valor máximo de 26.9 °C para el mes de septiembre y valor mínimo de 25.1 °C, para el mes de enero.

La oscilación térmica media anual para el período de datos considerado es de 1.8 °C, lo cual indica condición de isotérmica, por estar ubicada en plena zona intertropical.

### **5.3 Descripción de las características hidráulicas del río Santa Bárbara**

Para ello será necesario, en primera instancia, la delimitación de la cuenca aportadora de crecientes.

#### **5.3.1 Delimitación y cuantificación del área y perímetro de la cuenca**

De acuerdo a los cálculos procesados con base a las imágenes de satélite Landsat de Google Earth, el área de la cuenca es de 512 hectáreas, y un perímetro de 9442 metros. El área de la cuenca está dividida a su vez en tres (3) sub-áreas cuantificada en la misma imagen de satélite, de la siguiente manera en la Tabla 5.4:

Tabla 5.4 Sub-áreas delimitadas dentro de la cuenca.

<b>Tipo de superficie</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosques	56	10.94
Zona urbanizada	418	81.64
Suelo pesado desnudo	38	7.42
	512	100

### 5.3.2 Determinación de los coeficientes de escorrentía ponderado

Basándose en los criterios de Aparicio, F., (1999), y Benítez, A., (1980), se concluyó que los coeficientes de escurrimiento para las sub-áreas de la cuenca, se presentan en la Tabla 5.5 y en la Tabla 5.6 se presenta el coeficiente de escorrentía ponderado estimado mediante la ecuación:

$$C_{e_{pond}} = \frac{\sum(\text{Area}_i \times C_{e_i})}{\sum \text{Áreas}} \quad (5.1)$$

Tabla 5.5 Coeficientes de escurrimiento para las áreas delimitadas dentro de la cuenca.

<b>Tipo de superficie</b>	<b>Coeficientes de escurrimiento</b>
Zona de bosque	0.35
Zona urbanizada	0.70
Zona de suelo desnudo	0.60

Tabla 5.6 Coeficiente de escorrentía ponderado.

<b>Tipo de superficie</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Coeficiente Escorrentía</b>	<b>Coef escorrentía ponderado</b>
Bosques	76	0.35	0.646
Zona urbanizada	468	0.70	
Suelo pesado desnudo	56	0.60	
	600		

### 5.3.3 Determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca

A continuación, se procede a determinar algunos parámetros morfométricos de la cuenca (tales como Longitud axial, longitud del cauce principal, área, pendiente del cauce, entre otros) del río Santa Bárbara que permitirán llevar a cabo los cálculos ulteriores sobre la hidráulica del río en cuestión.



Figura 5.15 Parámetros morfométricos de la cuenca alta-media río Santa Bárbara.



Figura 5.16 Perfil longitudinal y pendiente del cauce del río Santa Bárbara.

De las anteriores figuras se deducen el área de la cuenca (5 Km<sup>2</sup>), su longitud del cauce principal (5480 m), la pendiente del cauce principal (entre 4.1% y 7%) y de su longitud axial (5100 m).

### 5.3.4 Determinación de los tiempos de concentración

Para obtener los tiempos de concentración se estimó a través de la ecuación presentada por Arocha (1983), aportada por la *California Culvert Practice* que permite estimar el mismo en minutos:

$$T_c = 0,0195(L^3/H)^{0,385} \quad (5.2)$$

Donde:

T<sub>c</sub>: tiempo de concentración (min)

L: longitud del cauce más largo (metros)

H: diferencia de elevación entre el punto más remoto de la cuenca y la salida de la misma (metros).

Tabla 5.7 Tiempos de concentración por tipo de cobertura del suelo y para el cauce principal.

Tipo de superficie	Longitud de cauce (m)	Cotas (msnm)	Cota inf (msnm)	Dif cota (m)	Tiempo de concentración (min)
Bosques	4783	108	41	67	69
Zona urbanizada	4893	91	41	50	79
Suelo pesado desnudo	4922	99	41	58	75
Cauce principal	5480	120	41	79	76

### 5.3.5 Determinación de la intensidad de lluvia para cada área delimitada

Para obtener la intensidad de lluvia, se consideran las curvas de intensidad, duración y frecuencia propuestas por Pereira y Montilla (2010) que se muestran a continuación (Figura 5.17) y que pueden ser aplicadas para el área urbana de Ciudad Bolívar:

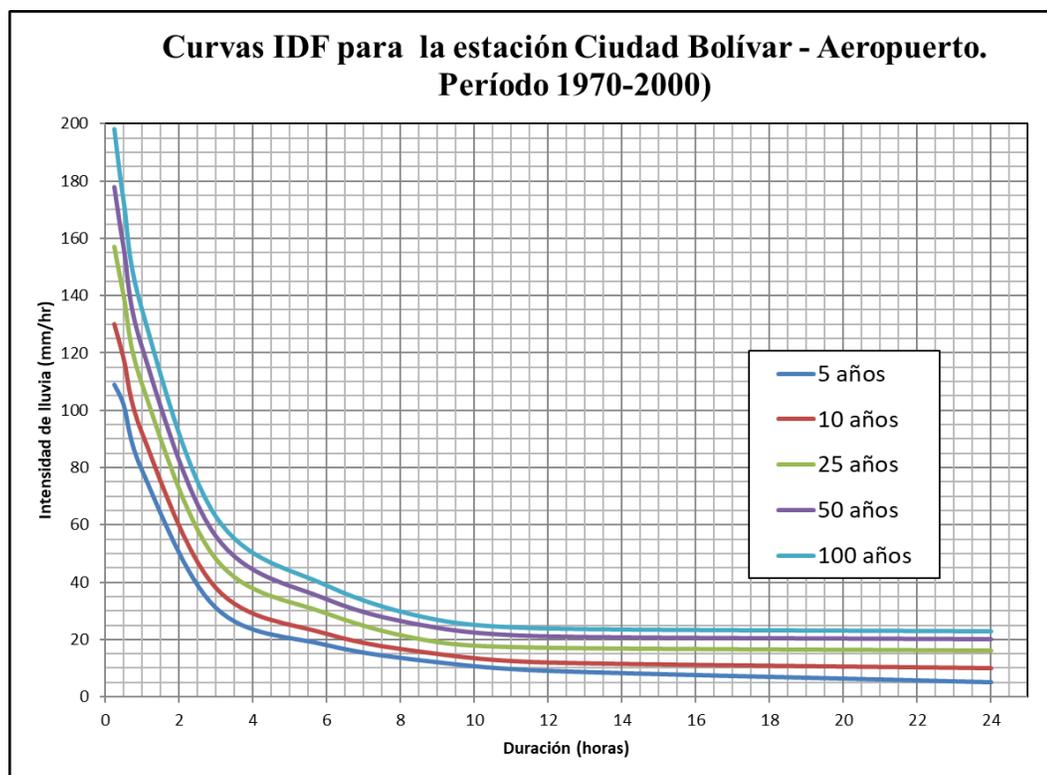


Figura 5.17 Curvas IDF para Ciudad Bolívar (Montilla y Pereira, 2010).

Se estimó en la siguiente tabla, lo que son las intensidades de lluvia para cada área delimitada dentro de la cuenca y considerando períodos de retorno de 25 años:

Tabla 5.8 Intensidades de lluvia para cada área delimitada dentro de la cuenca

Tipo de superficie	Tiempo de concentración (min)	Intensidad de Lluvia (Tr=25 años) (mm/hr)
Bosques	69	110
Zona urbanizada	79	103
Suelo pesado desnudo	75	105
Cauce principal del río	79	103

### 5.3.6 Determinación del caudal de drenaje que aportará la cuenca

Para la estimación del caudal (Q) que aportará la cuenca de drenaje, se utilizará el método del Hidrograma Unitario Triangular SCS (Tablas 5.9 y 5.10 y Figura 5.18) y la ecuación planteada por Camacho, F. (2019):

$$Q = (C \times I \times A \times T_c) / (1.33 \times 360 \times T_p) \quad (5.3)$$

Tabla 5.9 Estimación del caudal unitario.

Parámetros	Fórmulas	Nomenclatura	Resultado	Unidad
Area de la cuenca:		A=	6.000	km <sup>2</sup>
Tiempo de concentración		Tc =	79.000	min
Tiempo al pico	Tp = Tc / 1.5	Tp=	52.667	min
Tiempo de recesión	Tr = 1.67 x Tp	Tr=	87.953	min
Tiempo base	Tb = 2.67 x Tp	Tb=	140.620	min
Duración lluvia neta unit	ΔD = Tc / 7.5	ΔD=	10.533	min
Tiempo de retardo	Tl = Tp - (ΔD / 2)	Tl=	47.400	min
Caudal unitario	qp = 0.208 x (A / Tp)	qp=	0.023696	m <sup>3</sup> /s.mm

Tabla 5.10 Estimación del caudal de diseño.

Parámetro	Nomenclatura	Resultados	Unidades
Coef de escurrimiento ponderado de la cuenca	C =	0.646	
Intensidad de la lluvia (de curvas IDF)	$I_{25} =$	79.14	mm/hr
Area de la cuenca (del plano)	A =	600.000	ha
Tiempo de concentración (del plano)	$T_c =$	1.317	hr
Tiempo al pico	$T_p =$	0.878	hr
Caudal $Q_d = (C \times I \times A \times T_c) / (1.33 \times 360 \times T_p)$	Q=	96.09857143	$m^3/s$

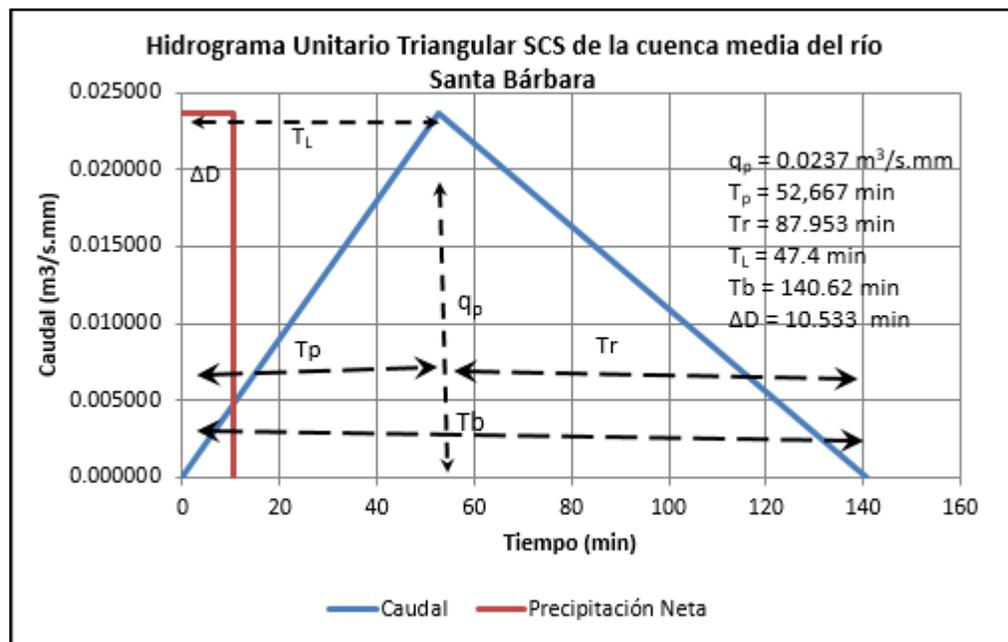


Figura 5.18 Hidrograma Unitario Triangular SCS para la cuenca media del río Santa Bárbara.

Donde:

Q: gasto máximo (l/s)

I: intensidad de la lluvia expresada (lps/ha)

A: área tributaria (ha)

C: coeficiente de escorrentía ponderado.

### 5.3.7 Determinación de los parámetros hidráulicos y elementos geométricos

Para la determinación de los parámetros hidráulicos y elementos geométricos para cada sección transversal (Figuras 5.20 y 5.21) levantada topográficamente en el cauce del río objeto de estudio, se utilizó el modelo matemático de flujo permanente unidimensional computarizado HECRAS versión 4.1 liberado por la Comisión de Ingeniería Hidráulica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América (*US Army Corp of Engineers - Hydraulic Engineering Commission USACE-HEC*).

#### 5.3.7.1 Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning

A tal efecto, se deberá asumir un coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ) utilizando el Manual del *US Geological Survey* (1849) impreso por el Gobierno de los Estados Unidos en 1967. En él se encuentra una corriente fluvial de características similares al río Santa Bárbara, de lecho arenoso con episodios de arcilla y crecimiento ribereño de gramíneas con un coeficiente de rugosidad calculado de  $n=0.030$ .



Figura 5.19 Río de Salt Creek at Roca, Nebraska.

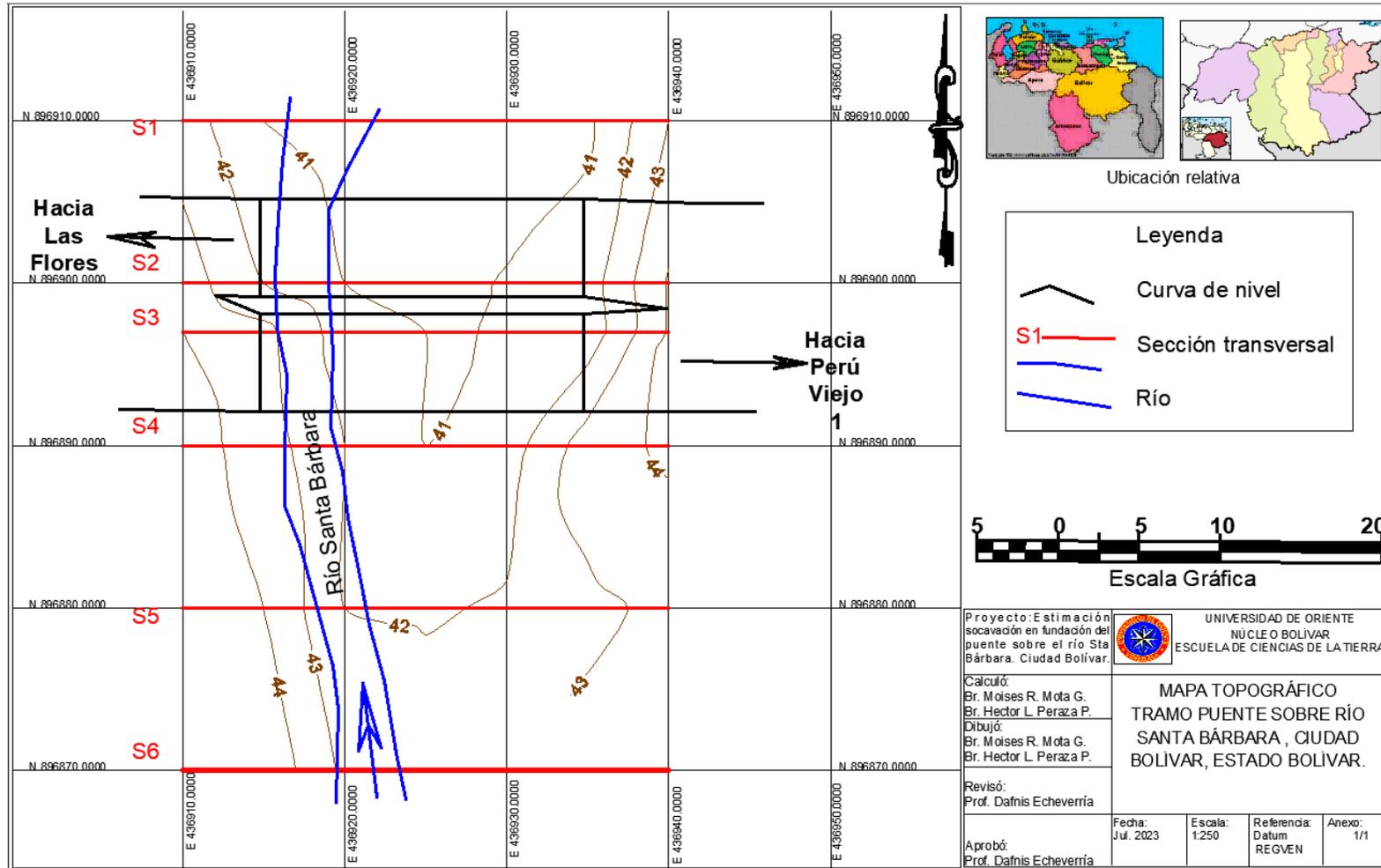


Figura 5.20 Mapa topográfico señalando la ubicación de las secciones transversales consideradas en la zona de estudio.

Esta aplicación, permite resolver las ecuaciones de conservación de la energía, continuidad y cantidad de movimiento para encontrar todos los parámetros hidráulicos y geométricos del flujo en el tramo estudiado. En la siguiente Figura 5.21, se observan las secciones transversales consideradas.

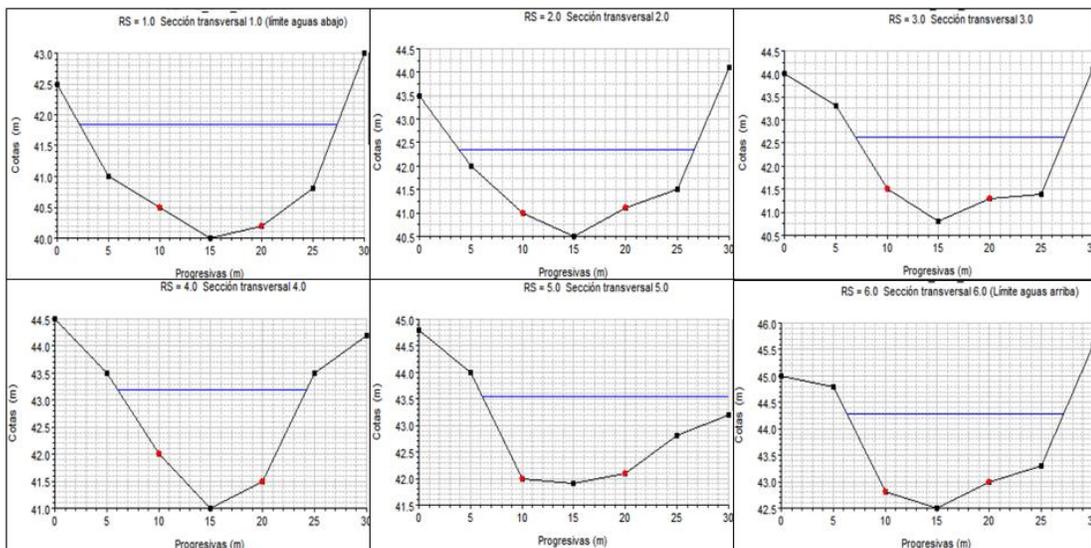


Figura 5.21 Secciones transversales en las proximidades del puente en estudio.

En la Tabla 5.11 se presentan ordenados en las seis (6) columnas, los parámetros hidráulicos siguientes: Sección Transversal, Caudal ( $Q$ ), Cota de superficie del agua ( $W.S. Elev$ ), Pendiente hidráulica ( $E.G. Slope$ ), Velocidad de flujo ( $Vel Chnl$ ), y Número de Froude ( $Froude \# Chl$ ), para condición de un período de retorno ( $Tr$ ) de 25 años y un caudal ( $Q$ ) de  $96.10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Obsérvese que el flujo permanece en estado sub-crítico en el tramo evaluado ( $Fr < 1$ ) indicativo de tendencia a la sedimentación.

Tabla 5.11 Parámetros hidráulicos para cada sección transversal.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	W.S. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude # Chl
Las Flores	6.0	Tr = 25 años	96.10	44.41	0.003074	3.95	0.97
Las Flores	5.0	Tr = 25 años	96.10	43.67	0.002876	3.81	0.93
Las Flores	4.0	Tr = 25 años	96.10	43.35	0.002676	4.05	0.92
Las Flores	3.0	Tr = 25 años	96.10	42.76	0.003151	3.92	0.97
Las Flores	2.0	Tr = 25 años	96.10	42.48	0.002942	3.86	0.94
Las Flores	1.0	Tr = 25 años	96.10	41.96	0.002001	3.29	0.78

En la Tabla 5.12 se presentan los parámetros geométricos relevantes para cada una de las secciones transversales, en cada fila, y en las columnas los parámetros geométricos, tales como: Nivel del agua (*W.S. Elev*), Ancho superficial (*Top Width*), Profundidad hidráulica (*Hydr Depth*), Radio Hidráulico (*Hydr Radius*), Perímetro mojado (*W.P. Total*), Área (*Flow Area*), también para un Período de retorno de 25 años y un caudal de 96.1 m<sup>3</sup>/s .

Tabla 5.12 Parámetros geométricos de las secciones transversales.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	W.S. Elev (m)	Top Width (m)	Hydr Depth (m)	Hydr Radius (m)	W.P. Total (m)	Flow Area (m <sup>2</sup> )
Las Flores	6.0	Tr = 25 años	96.10	44.41	21.44	1.30	1.27	22.03	27.97
Las Flores	5.0	Tr = 25 años	96.10	43.67	24.18	1.24	1.19	25.04	29.90
Las Flores	4.0	Tr = 25 años	96.10	43.35	19.15	1.42	1.37	19.83	27.16
Las Flores	3.0	Tr = 25 años	96.10	42.76	21.03	1.31	1.27	21.67	27.62
Las Flores	2.0	Tr = 25 años	96.10	42.48	23.50	1.24	1.22	23.98	29.21
Las Flores	1.0	Tr = 25 años	96.10	41.96	25.85	1.33	1.30	26.33	34.35

En la siguiente Figura 5.22 se confirma los resultados numéricos de las pendientes hidráulicas y de la profundidad hidráulica mostradas en las tablas 5.11 y 5.12 indicando una leve inversión de pendiente o resalto hidráulico en la sección transversal 4 (inicio de estrechamiento del puente).

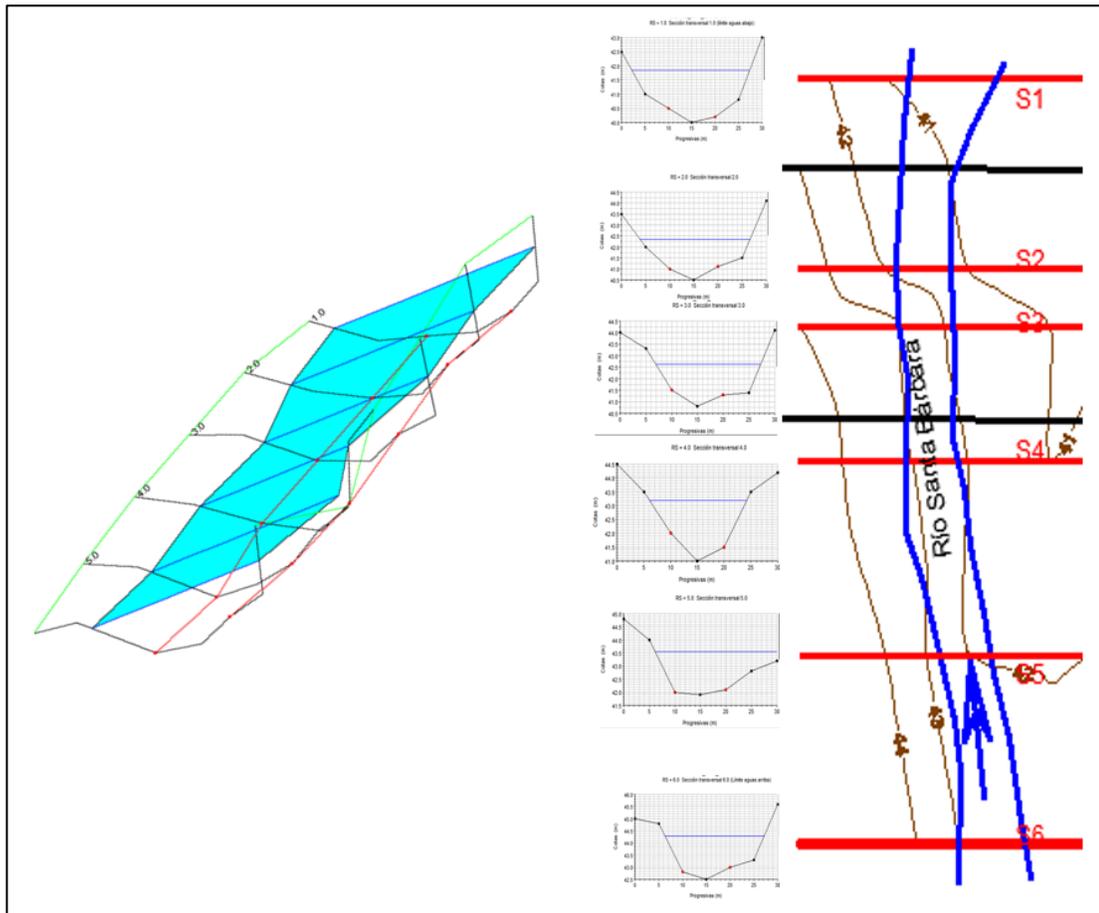


Figura 5.22 Vistas en 3D, verticales y planta de las secciones transversales.

#### 5.4 Descripción de la textura de los sedimentos o materiales del cauce

Se procedió a clasificar los materiales muestreados que están presentes en el cauce del río Santa Bárbara, adyacente al puente Las Flores.

La figura 5.23 se corresponde a las curvas de los análisis granulométricos efectuados a las cuatro (4) muestras de suelos recolectadas las cuales resultaron en su totalidad arenas mal gradadas (SP) de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

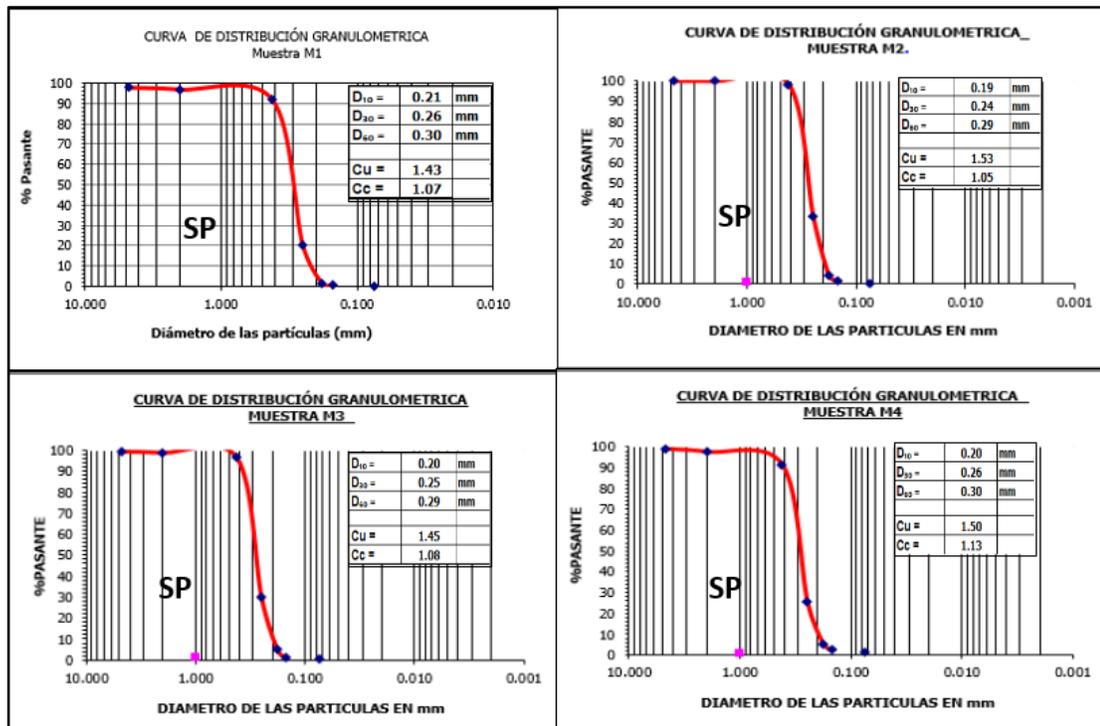


Figura 5.23 Curvas de los análisis de distribución granulométrica de las muestras tomadas en el área de estudio.

Asimismo, se observa que el diámetro medio ( $d_{50}$ ) de las partículas se mantiene en un rango de 0.29 mm a 0.32 mm.

## 5.5 Estimación de la posible socavación en las pilas

A tal efecto se utilizarán los métodos de Maza – Sánchez y el de Froehlich para la estimación de la socavación potencial que pudiese presentarse en las pilas de los puentes sobre el río Santa Bárbara.

### 5.5.1 Método de Maza Sánchez

Para la aplicación de la metodología propuesta por Maza – Sánchez se considerará la profundidad y la velocidad existentes en la sección transversal 4.0 que

se encuentra aguas arriba de las pilas y se emplearán entonces las variables siguientes (Tabla 5.13)

$H_s = 2.19$  m (Profundidad en la sección transversal 4.0, según Figura 5.21)

$V = 3.89$  m/s (de la sección transversal 4.0 en Tabla 5.11).

$f_c = 1$  (ángulo de esviaje =  $0^\circ$  en Tabla 3.1)

$a = 1.5$  m

$a' = 1.5$  m

$H_T =$  (Depende de  $Fr^2$ , de  $H_s/a'$  en la Figura 3.10)

Tabla 5.13 Estimación de la socavación local en la pila rectangular según Maza - Sánchez.

Condición	V (m/s)	g (m/s <sup>2</sup> )	H <sub>s</sub> (m)	f <sub>c</sub>	Fr <sup>2</sup>	a (m)	a' (m)	H <sub>s</sub> / a'	H <sub>T</sub> / a'	H <sub>T</sub> (m)	y <sub>s</sub> (m)
Tr=25 años	3.89	9.8	2.19	1	0.71	1.5	1.5	1.46	-1.5	2.25	0.06

### 5.5.2 Método de Froehlich (1991)

Para este método se aplicará la ecuación 3.5

Donde:

$K_f = 0.7$  (para pila rectangular en Tabla 3.2)

$a = 1.5$  m

$a' = 1.5$  m porque el ángulo de esviaje es 0

$h = 2.19$  m (Profundidad en la sección transversal 4.0, según Figura 5.21)

$V = 3.89$  m/s (de la sección transversal 4.0 en Tabla 5.11).

$d_{50} = 0.30$  mm (aproximadamente de la Figura 5.23).

Se efectúan las estimaciones de la socavación local al pie de la pila,  $y_s$ , (aplicando la ecuación 3.5) y considerando un  $Tr= 25$  años se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 5.14 Estimación de la socavación local en la pila rectangular según Froehlich.

<b>Condición</b>	<b><math>k_f</math></b>	<b><math>a'</math> (m)</b>	<b><math>h</math> (m)</b>	<b><math>V</math> (m/s)</b>	<b><math>g</math> (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b><math>Fr</math></b>	<b><math>D_{50}</math> (m)</b>	<b><math>y_s</math> (m)</b>
<b>Tr=25 años</b>	0.7	1.5	2.19	3.89	9.8	0.84	0.00030	0.8

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Las variables climáticas que inciden significativamente en las variaciones de los caudales del río Santa Bárbara, tanto la precipitación como la evaporación, registran anualmente un comportamiento cíclico de carácter unimodal con valores promedio anual de 83.3 mm y 190.6 mm respectivamente. Por otra parte, la temperatura tiene escasa desviación típica mensual y presenta un promedio anual de 25.9 grados centígrados

2. El relieve del área de estudio se corresponde al de una mesa disectada por el río Santa Bárbara el cual tiene en el tramo de estudio una pendiente del lecho aproximada de 0.03 m/m, mientras que sus riberas presentan rasgos de formación de terrazas aluviales que han sido modificadas o destruidas por los periódicos procesos de dragado del cauce (que efectúan los entes gubernamentales).

3. Hidráulicamente el río Santa Bárbara presenta características de un flujo de poca profundidad (para el momento de la investigación) no alcanzando los 30 centímetros. Sin embargo, estas profundidades se verían drásticamente incrementadas hasta unos tres (3) metros ante la ocurrencia de precipitaciones con períodos de retorno superiores a los 25 años. Igualmente, las condiciones del flujo podrían verse afectadas principalmente en el sitio de ubicación del puente debido al estrechamiento que este ha provocado en el cauce.

4. La velocidad del flujo, en las secciones transversales, varía entre 3.13 m/s y 3.89 m/s para un período de retorno de 25 años. Asimismo se observa que las

condiciones del estado del flujo será de flujo subcrítico debido a las magnitudes del número de Froude inferiores a 1.

5. Las estimaciones de la socavación que se puede producir en entorno a las pilas del puente sobre el río Santa Bárbara utilizando los métodos de Maza Sánchez y el de Froehlich arrojaron magnitudes entre los 0.06 m y 0.8 m.

### **Recomendaciones**

1. Se propone evaluar los efectos de posibles socavaciones sobre las cimentaciones generadas por los patrones de flujos de corrientes para condiciones de avenidas con períodos de retorno de 25 y 50 años
2. Se recomienda a los entes estatales encargados del mantenimiento de la estructura del puente sobre el río Santa Bárbara aplicar programas de concienciación a la población para evitar arrojar desechos sólidos en las adyacencias del puente lo cual podría incrementar el estrechamiento en los vanos del puente y generar una inusitada socavación local entorno a las pilas.
3. Se recomienda evaluar al menos diez (10) modelos matemáticos para la estimación de la socavación en torno a las pilas de todos los puentes del área urbana de Ciudad Bolívar para determinar su sensibilidad y decidir sobre el método que mejor se adapte a las condiciones de los ríos de Ciudad Bolívar.

## REFERENCIAS

Aguado S. A., (2012). **ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN PUENTES PARA SU USO EN EL CÁLCULO DEL RIESGO FÍSICO** (Trabajo de grado). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Almonte, P. Néstor y de la Cruz V. Sleyther. (2022) **“EVALUACIÓN Y DISEÑO DE PROTECCIÓN FRENTE A LA SOCAVACIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE UNOCOLLA, JULIACA – PUNO”** Revista de Investigación Científica y Tecnológica, ISSN-e 2709-2275, Vol. 3, N° 1,

Aparicio, F. 1997. **FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. Balderas, México: Limusa. 303 p.

Arias, Fidias. (2006). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Quinta Edición. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. (pp.143)

Arnal, Eduardo (2000). **LECCIONES DE PUENTES**. Ediciones Altolitho, Caracas, Venezuela. pp. 7 a 34.

Arocha, Simón. (1983). **CLOACAS Y DRENAJES**. Ediciones Vega s.r.l. Caracas, Venezuela. pp. 263.

Azmayeen R. Shahriar, Mohammed A. Gabr, Brina M. Montoya, and Alejandra C. Ortiz. 2022. **“ESTIMATING LIVE-BED LOCAL SCOUR AROUND BRIDGE PIERS IN COHESIONLESS SEDIMENTS: APPLICABILITY AND BIAS OF SELECTED MODELS”**. *Canadian Geotechnical Journal*. 60(4): 471-487. <https://doi.org/10.1139/cgj-2022-0122>

Bateman, A. (2007) **HIDROLOGÍA BÁSICA Y APLICADA**. Grupo de Investigaciones en Transporte de Sedimentos. Colombia. pp. 70.

Balestrini, M. (2001) **¿CÓMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?** BL Consultores Asociados, Servicio Editorial, Caracas, Venezuela.

Barbosa, S., (2013). **METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN GENERAL EN RÍOS DE MONTAÑA (LECHO DE GRAVAS)**. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín, Colombia.

Beltrán González, L. (2004) **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS**. Primera edición. Editorial Ameco. Puerto la cruz, Venezuela.

Breña A., Jacobo M. (2006) **PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL**. Editorial Casa Abierta al Tiempo, México. pp. 254.

Bruce W. Melville, Et al. (2000) **LOS ESTUDIOS REALIZADOS POR (GUEVARA, 1998)**.

Falcón, Marco (1990). **HIDRÁULICA FLUVIAL**. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Páginas 35 y 36.

Giraldo, G., y Vega, D. (2013). **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y SOCAVACIÓN DE PUENTES APOYADA EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG)** (Trabajo de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá D.C.

Guerra, N. (2014) **ANÁLISIS DE LA EROSIÓN LOCAL EN TORNO A LAS PILAS Y ESTRIBOS DE LOS PUENTES VIALES UBICADOS EN EL RÍO CAÑAFÍSTOLA, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Hernández, M. (2003). **EL MANUAL DE TESIS DE GRADO Y ESPECIALIZACIÓN Y MAESTRÍA Y TESIS DOCTORALES DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA LIBERTADOR**. Tercera Edición. FEDUPEL. Caracas, Venezuela. (pp.245).

Infante. D., Maestracci, P. (2015) **RELACIÓN ENTRE TURBIDEZ, CONCENTRACIÓN Y EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y SU INFLUENCIA FÍSICA EN LAS PILAS DE CONCRETO DEL PUENTE DEL RÍO MARHUANTA, UBICADO EN EL MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar. pp 47 - 59.

Maza Álvarez, A. y Sánchez Bribiesca, J. (1964) **CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN PILAS DE PUENTES**. UNAM, México. pp. 44 a 50.

Maza Alvarez, A. (1970) **SOCAVACIÓN EN PILAS DE PUENTES**

Rodríguez, P. (2008). **HIDRÁULICA DE CANALES**. Instituto tecnológico de Oaxaca. México. pp. 570.

Sabino, C. (1994) **COMO HACER UNA TESIS Y ELABORAR TODO TIPOS DE ESCRITOS**. Tercera Edición. Editorial Panapo. Caracas, Venezuela. pp. 240.

Sánchez Gracia J. (2005) **MORFOLOGÍA DE RÍOS**. Instituto de ingeniería UNAM. México. pp. 204.

Strahler, Arthur (1977). **GEOGRAFÍA FÍSICA**. Tercera edición. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. pp 110 a 130.

Tamayo, M. (1997). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Segunda Edición. Editorial Limusa. Mexico. pp. 175.

Tamayo, M. (1999). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Segunda Edición. Editorial Limusa. Mexico. pp. 231.

Terzaghi, Karl, Peck, Ralph. (1954). **MECÁNICA DE LOS SUELOS**. Tercera edición. Librería El Ateneo Editorial. México. pp. 21 a 24.

Zamora, S. (2016) **ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE EROSION LOCAL ENTORNO A LAS PILAS DEL PUENTE UBICADO EN LA AVENIDA NUEVA GRANADA SOBRE EL RÍO SAN RAFAEL, SECTOR LAS CAMPIÑAS MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar. pp. 41 - 54.

Bañon Blázquez, Luis (2000). **EL AGUA Y LA CARRETERA**. 4 de Abril de 2015. [[http://sirio.ua.es/proyectos/manual\\_%20carreteras/02010401.pdf](http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010401.pdf)]. pp.1 a4.

Diccionario de la Real Academia Española (DRAE). (2012) **DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA**. 20 de Noviembre de 2017. [<http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>].

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). (2014). 20 de septiembre de 2014. Anzoátegui. [<http://www.inameh.gob.ve/>].

Rocha, A. (1998) **INTRODUCCIÓN A LA HIDRAULICA FLUVIAL** [(<http://es.scribd.com/doc/73760897/Introduccion-a-la-Hidraulica-Fluvial-ARTURO-ROCHA-FELICES>)].

Velázquez, M. (2011) **EROSIÓN, TRANSPORTE Y SEDIMENTACIÓN**. 15 Junio 2014, [<http://mariacvg.wordpress.com/2011/05/20/erosión-transporte-y-sedimentación/>].

## **APÉNDICES**

**APÈNDICE A**  
**DATOS DE LOS ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN**  
**GRANULOMÉTRICA**

## A.1 Datos del análisis de distribución granulométrica de la muestra 1.

PROYECTO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOUBICACIÓN: CUENCA BAJA RIO SANTA BARBARA, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVARIDENTIFICACIÓN DE MUESTRA: M1

Tamiz (n°)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.750	747.20	757.40	10.20	2.04	2.04	97.96
10	2.000	643.20	648.20	5.00	1.00	3.04	96.96
40	0.419	566.20	590.10	23.90	4.78	7.82	92.18
60	0.250	512.00	871.20	359.20	71.84	79.66	20.34
<b>80</b>	<b>0.180</b>	515.00	609.40	94.40	18.88	98.54	1.46
<b>100</b>	<b>0.150</b>	395.60	400.70	5.10	1.02	99.56	0.44
200	0.075	482.30	484.10	1.80	0.36	99.92	0.08
PAN	0.000	483.60	483.80	0.20	0.04	99.96	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	499.80	<b>99.96</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500.00			
			%ERROR	<b>0.04</b>			

## A.2 Datos del análisis de distribución granulométrica de la muestra 2.

PROYECTO: ANALISIS GRANULOMETRICOUBICACIÓN: CUENCA BAJA DEL RÍO SANTA BÁRBARA, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVARIDENTIFICACIÓN DE MUESTRA: M2

Tamiz (n°)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.75	747.2	747.2	0	0.00	0.00	100.00
10	2	643.2	643.7	0.5	0.10	0.10	99.90
40	0.4193	566.2	574.2	8	1.60	1.70	98.30
60	0.25	512	838.1	326.1	65.22	66.92	33.08
<b>80</b>	<b>0.18</b>	515	658.9	143.9	28.78	95.70	4.30
<b>100</b>	<b>0.15</b>	395.6	408.8	13.2	2.64	98.34	1.66
200	0.075	482.3	489.1	6.8	1.36	99.70	0.30
PAN	0	483.6	483.9	0.3	0.06	99.76	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	498.80	<b>99.76</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500.00			
			%ERROR	<b>0.24</b>			

## A.3 Datos del análisis de distribución granulométrica de la muestra 3.

PROYECTO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOUBICACIÓN: CUENCA BAJA DEL RÍO SANTA BÁRBARA. CIUDAD BOLÍVAR. ESTADO BOLÍVARIDENTIFICACIÓN DE MUESTRA: M3

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.750	747.20	749.40	2.20	0.44	0.44	99.56
10	2.000	643.20	646.30	3.10	0.62	1.06	98.94
40	0.419	566.20	578.60	12.40	2.48	3.54	96.46
60	0.250	512.00	845.80	333.80	66.76	70.30	29.70
80	0.180	515.00	637.20	122.20	24.44	94.74	5.26
100	0.150	395.60	415.50	19.90	3.98	98.72	1.28
200	0.075	482.30	486.70	4.40	0.88	99.60	0.40
PAN	0.000	483.60	483.70	0.10	0.02	99.62	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	498.10	<b>99.62</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500.00			
			%ERROR	<b>0.38</b>			

## A.4 Datos del análisis de distribución granulométrica de la muestra 4.

PROYECTO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOUBICACIÓN: CUENCA BAJA DEL RÍO SANTA BARBARA. CIUDAD BOLÍVAR. ESTADO BOLÍVARIDENTIFICACIÓN DE MUESTRA: M4

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.750	747.20	752.70	5.50	1.10	1.10	98.90
10	2.000	643.20	650.50	7.30	1.46	2.56	97.44
40	0.419	566.20	597.30	31.10	6.22	8.78	91.22
60	0.250	512.00	840.80	328.80	65.76	74.54	25.46
80	0.180	515.00	615.70	100.70	20.14	94.68	5.32
100	0.150	395.60	410.20	14.60	2.92	97.60	2.40
200	0.075	482.30	488.50	6.20	1.24	98.84	1.16
PAN	0.000	483.60	485.70	2.10	0.42	99.26	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	496.30	<b>99.26</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500.00			
			%ERROR	<b>0.74</b>			

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

<b>Título</b>	ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN LOCAL QUE SE PRODUCIRÍA AL PIE DE LAS PILAS DE FUNDACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO SANTA BÁRBARA, SECTOR LAS FLORES, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO ANGOSTURA DEL ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.
<b>Subtítulo</b>	

**Autor(es)**

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
MOTA GUTIÉRREZ, MOISÉS RAFAEL	<b>CVLAC</b>	27.928.097
	<b>e-mail</b>	moisesmota14@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
PERAZA PERAZA, HÉCTOR LUIS	<b>CVLAC</b>	26.604.137
	<b>e-mail</b>	hectorperaza888@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

**Palabras o frases claves:**

Socavación de pilas
Puentes fluviales
Río Santa Bárbara Ciudad Bolívar

**Líneas y sublíneas de investigación:**

<b>Área</b>	<b>Subárea</b>
Mecánica de sedimentación y erosión	Socavación de pilas
Obras Hidráulicas	Fallas de puentes

**Resumen (abstract):**

La presente investigación se basa en la estimación de la socavación que se produciría al pie de las pilas del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara de Ciudad Bolívar, estado Bolívar, siendo este el objetivo principal. La investigación es de nivel descriptivo, con un diseño de investigación de campo y experimental para la cual se ha admitido una metodología que incluye desarrollar la caracterización climática de la zona, describir la geomorfología con base al levantamiento topográfico que se efectuará y que permitirá la construcción de las secciones transversales del cauce del río. Mediante diversas variables que se implementan en el siguiente estudio se efectúa una descripción de los parámetros hidráulicos de la corriente fluvial con el apoyo del programa de flujo permanente unidimensional HECRAS, descripción de las condiciones granulométricas de los sedimentos, descripción geométrica y dimensional de las estructuras civiles presentes y una evaluación de la socavación local que se produce en las pilas siguiendo los autores como: Maza – Sanchez y Froehlich. Entre los resultados más relevantes obtenidos se tiene en primer lugar que las características climatológicas del área permiten afirmar que el clima de la zona corresponde al de un bosque seco tropical. Las características texturales de los sedimentos se pueden apreciar que los materiales del lecho se tratan de Arenas mal gradadas (SP). Geomorfológicamente, la zona corresponde a un típico río de la formación Mesa, su cauce y riberas han sido alteradas reiteradamente mediante la acción del hombre (dragado del cauce, descarga de desechos sólidos en las terrazas aluviales y en los vanos laterales del puente). Una vez aplicada esta metodología, se encontró que los suelos del lecho se corresponden con arenas mal gradadas (SP) con un  $d_{50}$  promedio de 0.30 mm, así mismo se determinó que la cuenca aportadora de avenidas tiene un área de 512 ha y produciría un caudal de 83.02 m<sup>3</sup>/s para un período de retorno de 25 años. La socavación que se produciría en los cimientos estarán en el orden 0.06 m y 0.8 m estimada por los criterios y modelos matemáticos de Maza Sánchez, y de Froehlich. Como medida de control de la socavación se propone la utilización gaviones colocados perimetralmente en torno a los sistemas de pilas del puente sobre el río Santa Bárbara

**Contribuidores:**

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>ROL / Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>Monteverde S., Francisco R.</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>12.192.676</b>
	<b>e-mail</b>	<b>monteverdefr@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
<b>España Rodríguez, Juan Carlos</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>12.602.152</b>
	<b>e-mail</b>	<b>juangeoe@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
<b>Echeverría Coa, Beatriz Carolina</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>21.013.748</b>
	<b>e-mail</b>	<b>beitacaro92@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

**Fecha de discusión y aprobación:**

**Año      Mes      Día**

<b>2023</b>	<b>10</b>	
-------------	-----------	--

**Lenguaje** Spa

**Archivo(s):**

<b>Nombre de archivo</b>
ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN LOCAL QUE SE PRODUCIRÍA AL PIE DE LAS PILAS DE FUNDACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO SANTA BÁRBARA, SECTOR LAS FLORES.docx

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 \_ - .**

**Alcance:**

**Espacial:** Río Santa Bárbara, Ciudad Bolívar, estado Bolívar, Venezuela.

**Temporal:** 2023

**Título o Grado asociado con el trabajo:**

Ingeniero Geólogo

**Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado**

Pregrado

**Área de Estudio:**

Ingeniería Geológica

**Otra(s) Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:**

Universidad de Oriente



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU Nº 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC Nº 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA  
RECIBIDO POR *Martínez*  
FECHA 5/8/09 HORA 5:30  
Autorización que hago a usted a los fines consiguientes.  
Cordialmente,  
*Juan A. Bolanos Currelo*  
JUAN A. BOLANOS CURRELO  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/marija

**Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) :** "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."

---

**AUTOR**

**Moisés Rafael Mota Gutiérrez  
C.I.: V-27.928.097**

---

**AUTOR**

**Héctor Luis Peraza Peraza  
C.I.: V-26.604.137**

---

**TUTOR**

**Francisco R. Monteverde S.  
C.I.: V-12.192.676**