

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



**PROPUESTA CONCEPTUAL DE OBRAS CIVILES PARA LA MITIGACIÓN DE LA SOCAVACIÓN LOCAL QUE SE PRODUCIRÍA AL PIE DE LAS PILAS DEL PUENTE DE LA AVENIDA REPÚBLICA SOBRE EL RÍO BUENA VISTA, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LOS  
BACHILLERES LÓPEZ P.,  
ANTONIO J. Y PÉREZ P.,  
LEONEL A. PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**CIUDAD BOLÍVAR, DICIEMBRE DE 2019**



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

**ACTA DE APROBACIÓN**

Este trabajo de grado, titulado: **“PROPUESTA CONCEPTUAL DE OBRAS CIVILES PARA LA MITIGACIÓN DE LA SOCAVACIÓN LOCAL QUE SE PRODUCIRÍA AL PIE DE LAS PILAS DEL PUENTE DE LA AVENIDA REPÚBLICA SOBRE EL RÍO BUENA VISTA, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.”** presentado por los bachilleres: **LÓPEZ P., ANTONIO J. y PÉREZ P., LEONEL A.** ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre	Firma
Prof. Dafnis J. Echeverría	
Asesor	
___Prof. Francisco Monteverde	
Jurado	
___Prof(a). Beatriz Echeverría	
Jurado	
Prof. Pedro Gamboa. Jefe de Depto. de Ing. Civil	Prof. Francisco Monteverde Director de Esc. de Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar, Diciembre de 2019

## **DEDICATORIA**

A **Dios todo poderoso**, por brindarnos el gozo de la vida, y darnos la fortaleza y voluntad necesaria para superar dificultades de cada peldaño de esta etapa.

Con mucho amor a mi madre Rosa América Pereira González por su apoyo incondicional, confianza y guía constante para lograr esta meta tan importante.

A mi padre, a mis tíos (as), a mis hermanos, a todos mis familiares y amigos.

*Antonio José López Pereira*

A **Dios Shaddai**, por darnos el gozo de la vida, y darnos la fuerza y voluntad necesaria para superar dificultades de cada paso de esta etapa.

A mi madre María Crionicis Pereira González con todo el amor del mundo y brindarme incondicionalmente tu apoyo.

A mis familiares y amigos.

*Leonel Antonio Pérez Pereira*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todo poderoso por guiarnos y por darnos las fuerzas necesarias para seguir adelante y levantarnos a cada tropiezo, y por cuidarme siempre y darme el orgullo de ser profesional A mi madre principalmente a quien le agradezco todos mis triunfos porque es el pilar fundamental en mi vida, a mi tía Domaris por brindarme su apoyo incondicional, a mi abuela Nina por estar siempre en todo momento, a mi padre que fue incondicional en momentos necesarios de mi vida, a mis hermanos, mis familiares y amigos que prestaron mucha ayuda en momentos difíciles.

*Antonio José López Pereira*

Primero que todo quiero agradecer a Dios Shaddai por haberme permitido atender y conocer la ciencia y lograr culminar esta etapa profesional. A mi madre por su ardua e incansable labor para formarme como profesional, a Isabel Sandoval por su incondicional apoyo y consejos, mi amada esposa con su apoyo y consejo, a mis tíos, a todos mis familiares y a todos aquellos que de alguna manera me impulsaron a seguir, mil gracias.

*Leonel Antonio Pérez Pereira*

A todos los profesores y la Universidad de Oriente que asumieron nuestra formación como ingenieros y a nuestro asesor académico Dafnis Echeverría por su comprensión, y esfuerzo por toda la ayuda brindada guiándonos en cada paso del proceso de esta última etapa universitaria.

## RESUMEN

El presente trabajo de grados e basa en propuesta para la mitigación de la socavación que se produciría al pie de las pilas del puente de la avenida República sobre el río Buena Vista de Ciudad Bolívar, estado Bolívar, siendo este el objetivo principal. La investigación es de nivel proyecto factible, 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 del plano topográfico y 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: Laursen – Toch, Maza – Sanchez, Froehlich y Yaroslaziev. Entre los resultados más relevantes obtenidos tenemos 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 puede 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). Hidráulicamente, se determinaron las variables correspondientes considerando dos escenarios de caudales del río: a) Para un  $Tr = 25$  años y b) Para un  $Tr = 50$  años. Obteniéndose que los caudales de drenaje son de  $170.57 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $181.94 \text{ m}^3/\text{s}$ , y velocidades de flujo aguas arriba de las pilas son de  $4.26 \text{ m/s}$  y  $4.31 \text{ m/s}$  respectivamente. La predicción de socavación local en las pilas cilíndricas varió entre  $0.73 \text{ m}$  y  $2.2 \text{ m}$  para un período de retorno de 25 años y finalmente, la estimación de socavación local osciló entre  $0.75 \text{ m}$  y  $2.2 \text{ m}$  para un periodo de retorno de 50 años. De acuerdo a estos resultados se considera que la medida idónea de mitigación de la socavación es el muro de gaviones perimetral en torno a las cimentaciones del puente.

# CONTENIDO

	Página
<b>ACTA DE APROBACIÓN</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>RESUMEN</b> .....	v
<b>CONTENIDO</b> .....	1
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	4
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	6
<b>LISTA DE APÉNDICES</b> .....	8
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I. 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.....	6
1.3 Justificación de la investigación.....	7
1.4 Alcance de la investigación .....	7
<b>CAPÍTULO II.GENERALIDADES</b> .....	8
2.1 Ubicación geográfica y relativa del área .....	8
2.2 Características geográficas.....	10
2.2.1 Topografía.....	10
2.2.2 Geomorfología .....	10
2.2.3 Geología.....	11
2.3 Acceso al área de estudio .....	12
<b>CAPÍTULO III.MARCO TEÓRICO</b> .....	13
3.1 Antecedentes .....	13
3.2 Bases Teóricas.....	14
3.2.1 Precipitación .....	14
3.2.2 Tipos de precipitaciones .....	14
3.2.3 Evaporación .....	16
3.2.4 Infiltración y capacidad de infiltración .....	16
3.2.5 Aspectos geomorfológicos fluviales .....	17
3.2.6 Movimiento de sedimentos en ríos .....	21
3.2.7 Pendientes y secciones transversales.....	24

3.2.8	Morfometría de cuencas fluviales .....	25
3.2.9	Determinación del caudal aportado por la cuenca .....	33
3.2.10	Método racional .....	34
3.2.11	Puente .....	36
3.2.12	Socavación local en pilas .....	37
3.2.13	Método de Laursen y Toch (1953, 1956) .....	38
3.2.14	Método de Maza-Sánchez (1968) .....	41
3.2.15	Método de Froehlich (1991) .....	46
3.2.16	Método de Yaroslaziev .....	47
2.4.1	Ley Orgánica del Ambiente (2006) .....	50
2.4.2	Ley de Aguas (2007) .....	52

#### **CAPÍTULO IV.METODOLOGÍA DEL TRABAJO..... 54**

4.1	Tipo de investigación.....	54
4.2	Diseño de la investigación .....	54
4.2.1	Investigación documental.....	55
4.2.2	Investigación de campo .....	55
4.3	Población de la investigación.....	56
4.4	Muestra de la investigación .....	56
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57
4.5.1	Técnicas de recolección de datos .....	57
4.5.2	Instrumentos para la recolección de datos .....	58
4.6	Flujograma de la investigación .....	59
4.7	Procedimiento para el logro de los objetivos .....	60
4.7.1	Caracterización climatológica de la zona de estudio .....	60
4.7.2	Descripción geomorfológica de la zona de estudio.....	60
4.7.3	Determinación de las características hidráulicas del río Buena Vista.....	60
4.7.4	Distribución granulométrica de los sedimentos del lecho .....	62
4.7.5	Socavación local potencial al pie de las pilas del puente.....	62

#### **CAPÍTULO V.ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... 63**

5.1	Caracterización climatológica de la zona de estudio.....	63
5.1.1	Precipitación .....	63
5.1.2	Evaporación .....	65
5.1.3	Temperatura media mensual.....	66
5.2	Descripción geomorfológica de la zona de estudio .....	68
5.3	Determinación de las características hidráulicas del río Buena Vista.....	69
5.3.1	Delimitación y cuantificación del área y perímetro de la cuenca .....	69
5.3.2	Determinación de los coeficientes de escorrentía .....	71
5.3.3	Tiempos de concentración para cada superficie cuantificada.....	73
5.3.4	Intensidad de lluvia para cada área delimitada .....	74
5.3.5	Determinación del caudal de drenaje que aportará la cuenca .....	75

5.3.6	Parámetros hidráulicos y elementos geométricos .....	76
5.4	Distribución granulométrica de los sedimentos del lecho y de las riberas .....	78
5.5	Socavación local potencial al pie de las pilas del puente sobre el río Buena Vista.....	82
5.5.1	Método de Maza Sánchez.....	82
5.5.2	Método de Froehlich (1991) .....	84
5.5.3	Método de Yaroslaziev.....	85
<b>CAPÍTULO VI. LA PROPUESTA .....</b>		<b>87</b>
6.1	Objetivo de la propuesta .....	87
6.2	Justificación.....	87
6.3	Desarrollo de la propuesta.....	87
6.3.1	Ubicación.....	87
6.3.2	Elementos dimensionales .....	88
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>91</b>
	Conclusiones .....	91
	Recomendaciones .....	93
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>94</b>
<b>APÉNDICES.....</b>		<b>98</b>

## LISTA DE FIGURAS

		Página
2.1	Ubicación local del puente sobre el río Buena Vista (Pérez y López, 2019).....	9
2.2	Ubicación relativa nacional del área de estudio (Pérez y López, 2019)..	9
2.3	Acceso al área de estudio (López y Pérez, 2019).....	12
3.1	Coeficiente $K_f$ . (Juárez de Badillo E. y Rico Rodríguez A. 1992).....	39
3.2	Coeficiente $K_g$ . Método Laursen y Toch. (Juárez y Rico, 1992).....	42
3.3	Cálculo de la socavación local en un pilar rectangular (Maza Álvarez, 1987).....	43
3.4	Cálculo de la socavación local para un pilar circular (Maza Álvarez, 1987).....	44
3.5	Cálculo de la socavación local en una pila alongada (Maza Álvarez, 1987).....	45
3.6	Coeficiente $K_f$ (Falcón, 1990).....	48
3.7	Coeficiente $K_V$ (Falcón, 1990).....	49
3.8	Coeficiente $K_H$ (Falcón, 1990).....	49
4.1	Flujograma de la investigación (López y Pérez, 2019).....	59
5.1	Precipitación máxima, media y mínima mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.007. (INAMEH, 2015).....	64
5.2	Evaporación Media mensual en (mm). Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659 – Estado Anzoátegui Período 1.987 – 2007 (INAMEH, 2015).....	66
5.3	Temperatura media mensual en (C°). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.007 (INAMEH, 2015)...	67
5.4	Imagen de de satélite Landsat mostrando la delimitación de la cuenca del río Buena Vista.(López y Pérez, 2019).....	70
5.5	Curvas IDF para la región hidrológica II. (Arocha, 1983).....	74
5.6	Curva granulométrica de la muestra M1 (López y Pérez, 2019).....	79
5.7	Curva granulométrica de la muestra M2 (López y Pérez, 2019).....	79
5.8	Curva granulométrica de la muestra M3(López y Pérez, 2019).....	80
5.9	Curva granulométrica de la muestra M4 .(López y Pérez, 2019).....	80
5.10	Curva granulométrica de la muestra M5(López y Pérez, 2019).....	81
6.1	Cesta típica de gavión (Fratelli, 2000).....	88
6.2	Armado de malla de gaviones (LEMAC, 2019).....	89
6.3	Colocación de cimbras para dar rigidez a la malla del gavión durante su llenado (LEMAC, 2019).....	89
6.4	Llenado manual del gavión con rocas de 4 a 6 pulgadas de diámetro y	

	peso específico de 2.0 Tm/m <sup>3</sup> (LEMAC, 2019).....	90
6.5	Muros de gavión (Fratelli (2000)).....	90

## LISTA DE TABLAS

		Página
2.1	Coordenadas UTM de ubicación del puente (López y Pérez, 2019).....	08
2.2	Coordenadas UTM.....	08
3.1	Factor de corrección $f_c$ . Método de Maza-Sánchez (Maza Álvarez, 1987).....	42
3.2	Factor de corrección $K_f$ . (Maza Álvarez, 1987).....	47
3.3	Factor $K_1$ .....	54
3.4	Factor $K_2$ .....	54
5.1	Precipitación media mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.007. (INAMEH, 2015)....	64
5.2	Evaporación media mensual en (mm). Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659-Estado Anzoátegui. Período 1.987–2007 (INAMEH, 2015).....	65
5.3	Temperatura media mensual en (°C). Estación: Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1987–2007 (20 Años). (INAMEH, 2015).....	67
5.4	Sub-áreas delimitadas dentro de la cuenca (López y Pérez, 2019).....	71
5.5	Coeficiente de escorrentía (Aparicio, 1999).....	72
5.6	Coeficientes de escorrentía (Benítez, 1980).....	72
5.7	Coeficiente de escorrentía ponderado para toda la cuenca (López y Pérez, 2019).....	73
5.8	Tiempos de concentración para cada área (López y Pérez, 2019).....	73
5.9	Intensidades de lluvia para cada área delimitada dentro de la cuenca (López y Pérez, 2019).....	74
5.10	Estimación del caudal aportado por la cuenca de drenaje para un $T_r=25$ años (López y Pérez, 2019).....	75
5.11	Estimación del caudal aportado por la cuenca de drenaje para un $T_r=50$ años (López y Pérez, 2019).....	75
5.12	Parámetros hidráulicos del flujo en las secciones transversales (López y Pérez, 2019).....	76
5.13	Parámetros geométricos de las secciones transversales (López y Pérez, 2019).....	77
5.14	Ubicación de los puntos de muestreo de suelos del cauce del río Buena Vista (López y Pérez, 2019).....	78
5.15	Coeficiente de curvatura y uniformidad obtenidos de la curvas de distribución granulométrica para cada muestra(López y Pérez, 2019)..	81
5.16	Estimación de la socavación local en la pila cilíndrica según Maza – Sánchez . (López y Pérez, 2019).....	83
5.17	Estimación de la socavación local en la pila cilíndrica según Froehlich. (López y Pérez, 2019).....	84

5.18	Estimación de la socavación local en la pila cilíndrica según Yaroslaziev. (López y Pérez, 2019).....	85
5.19	Resumen de profundidades de socavación estimadas en las pilas (López y Pérez, 2019).....	86

## LISTA DE APÉNDICES

	Página
<b>A SECCIONES TRANSVERSALES TOPOGRÁFICAS Y MODELO 3D</b> .....	99
A.1 Sección transversal 80.0 (López y Pérez, 2019).....	100
A.2 Sección transversal 60.0 (López y Pérez, 2019).....	100
A.3 Sección transversal 40.0 (López y Pérez, 2019).....	101
A.4 Sección transversal 20.0 (López y Pérez, 2019).....	101
A.5 Sección transversal 0.0 (López y Pérez, 2019).....	102
A.6 Modelo 3D del tramo en estudio (López y Pérez, 2019).....	102
<b>B DATOS DE LOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LAS MUESTRAS DE SUELO</b> .....	103
B.1 Datos del análisis granulométrico de la muestra M1 (López y Pérez, 2019).....	104
B.2 Datos del análisis granulométrico de la muestra M2 (López y Pérez, 2019).....	104
B.3 Datos del análisis granulométrico de la muestra M3 (López y Pérez, 2019).....	105
B.4 Datos del análisis granulométrico de la muestra M4 (López y Pérez, 2019).....	105
B.5 Datos del análisis granulométrico de la muestra M5 (López y Pérez, 2019).....	106

## INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de investigación contiene como objetivo principal el de analizar los procesos de socavación que se producirían al pie de las pilas del puente de avenida República sobre el río Buena Vista en municipio Heres, Ciudad Bolívar.

Dicha socavación puede producirse por la cantidad de material que es transportado en la sección del puente, es mayor que la cantidad de material que es transportado por el flujo aguas arriba. Así de esta manera se produce una mayor una erosión localizada en las adyacencias de las pilas por ser estas un obstáculo en el curso de la corriente.

En finalidad de esto se aplicarán ciertos métodos basados en la revisión de diferentes variable físicas que de alguna manera inciden en tales procedimientos erosivos. Entre estas 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 de la avenida República sobre el río Buena Vista.

Este documento se encuentra estructurado en seis (6) 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.

En el Capítulo VI. La Propuesta: se presenta los detalles conceptuales propiamente dichos de las medidas de mitigación de la socavación en las pilas del puente.

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

Los puentes, son estructuras planificadas, y construidas, con la finalidad de unir o conectar dos puntos específicos que se encuentren separados por algún obstáculo o accidente geográfico, ya sean naturales, o fabricados por el hombre, protegiendo a su vez, cualquier eventualidad que se haga paso entre estos dos puntos.

Existen diversos factores que estropean la correcta funcionalidad de los puentes, ya que actúan degradando, o erosionando con mayor velocidad las cimentaciones de los mismos, lo cual acarrea daños al medio ambiente que los rodea.

Diversos estudios señalan de un modo general que entre las causas más comunes de fallas de puentes están principalmente las siguientes: a) choque de cuerpos extraños (palizadas, embarcaciones, bloques de hielo y otros cuerpos extraños); b) comportamiento fluvial (socavación y diversas manifestaciones de la dinámica fluvial); c) acción del viento; d) sismos.

La mayor parte de los puentes que han presentado daños, en USA y en todo el mundo, ha sido debido a la socavación (AASHTO., 2014). En 1991 Shirole y Holt estudiaron 1.000 de los 600.000 puentes existentes en Estados Unidos, que había fallado a lo largo de un periodo de 30 años y encontraron que el 60% de las fallas se originó por problemas de socavación. Wardhana y Hadipriono estudiaron 500 fallas ocurridas entre 1.989 y el 2.000 en 500 puentes de los Estados Unidos y encontraron que el 53% se debió a las avenidas y a la socavación.

Con relación a esto, tenemos el caso del puente que está ubicado en el sector Parángula, en la intercomunal del estado Barinas, el cual fue socavado por las aguas del río y los daños se observan en uno de los márgenes del puente. El caudal del río aumenta al menos 4 veces por año, y aparte de socavar el puente, se ha comido 30 metros, aproximadamente, de la orilla y ha quedado al borde de una casa construida allí hace muchos años. En el mismo, se han realizado trabajos para evitar que el río continúe socavando, los cuales consistieron en crear muros con granzón, dentro del cauce, para restarle fuerza a las aguas, sin embargo, en unas de las crecientes, estos fueron arrastrados. Se utilizó un equipo de maquinaria especial para rehacer estas murallas en el cauce, pero en la carretera y el costado del puente socavado, no se han hecho trabajos para su restablecimiento (Obregón, Walter., 2013).

Entre estos ejemplos, tenemos el caso del puente ubicado en la Av. República, sobre el río Buena Vista, una de las cuencas hidrográficas más importantes que atraviesa a Ciudad Bolívar. En dicha estructura civil se produce una erosión localizada en las adyacencias de las pilas por ser esta un obstáculo en el curso de la corriente; este proceso erosivo se produce debido al estrechamiento que de manera eventual le produce el cauce del río al puente, trayendo actualmente como consecuencia que la estructura vial presente evidencias de socavación.

Razón por la cual es de vital importancia proponer medidas correctivas en pro de esta situación para que de esta manera se puedan disminuir los riesgos que en un futuro ocasionarían grandes pérdidas económicas, o peor aún, pérdidas de vidas de las personas que circulan por dicha estructura. El puente a lo largo de los años (tomando en cuenta los efectos ocasionados por las condiciones ambientales) podría fallar, debido al colapso de sus cimentaciones, ya que las pilas son los apoyos intermedios de los puentes, responsables de soportar la mayor carga de la estructura, y ofrecer resistencia contra los agentes erosivos que actúan alrededor de las mismas.

En función de esta investigación es necesario plantear una propuesta de medidas correctivas o preventivas para control de socavación de los cimientos de las pilas y estribos del puente ubicado en la Av. República, sobre el río Buena Vista, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar, Venezuela.

Para alcanzar dicho objetivo se formulan las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuáles son las dimensiones y geometría de las pilas, estribos y cimentaciones del puente ubicado en avenida República sobre el río Buena Vista?

¿Cómo se caracteriza el flujo de agua hidrológica e hidráulicamente del río Buena Vista en la zona objeto de estudio con base a las condiciones de la velocidad, caudal y direcciones de corriente?

¿Cuáles son las características en cuanto a textura de los sedimentos o los materiales del cauce presentes en el área de estudio?

¿Qué técnicas de control de erosión en pila de puente pudiesen aplicarse en las cimentaciones del puente ubicado sobre el río Buena Vista?

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Proponer obras civiles para la mitigación de la socavación local que se produciría en las fundaciones de las pilas del puente avenida República sobre el río Buena Vista, Ciudad Bolívar, municipio Heres, estado Bolívar, Venezuela.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar climatológicamente la zona de estudio con base a los parámetros precipitación, evaporación y temperatura, registrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), como variables independientes que inciden en los caudales del río Buena Vista.

2. Describir geomorfológicamente la zona de estudio mediante secciones transversales del lecho considerando el relieve topográfico, la fisiografía e hidrografía en el área del puente.

3. Determinar las características hidráulicas del tramo de ubicación del puente sobre el río Buena Vista, mediante la determinación de la velocidad y del caudal del río, de los elementos geométricos de las secciones transversales y de la pendiente longitudinal del cauce en el área de estudio.

4. Describir la distribución granulométrica de los sedimentos del lecho y de las riberas considerando a las partículas de suelos como los elementos protagonistas que sufrirán los efectos de los procesos de erosión y/o socavación.

5. Evaluar la erosión producida y/o la socavación local potencial al pie de las pilas del puente ubicado sobre el río Buena Vista, con base a los criterios de: Laursen–Toch, Maza-Sánchez, FroehlichYaroslaziev y de la Colorado StateUniversity (CSU).

6. Proponer medidas para mitigar o controlar la socavación de las fundaciones de las pilas del puente sobre el río Buena Vista

### **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 Buena Vista en la avenida República, 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.

Siendo este problema uno de los tantos que se presentan en ciudad bolívar, ya que debido a la ausencia de estudios adecuados en cada cierto tiempo, que permitan prevenir el colapso o minimizar el daño de este tipo de estructura, al Estado le cuesta millones en pérdidas materiales, perjudicando también a la población residente a las adyacencias de esta vía, así como también a la ciudad en general que son beneficiadas por estas estructuras viales.

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

Se determinará 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 Buena Vista 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.

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES**

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

El puente en estudio se encuentra ubicado hacia la zona central geográfica de Ciudad Bolívar, en la intersección del río San Rafael con la Calle 4 entre los sectores El Edén y la urbanización La Macarena,. En la tabla 2.1 se muestra las Coordenadas Geográficas del centroide del área de estudio.

Tabla 2.1 Coordenadas UTM de ubicación del puente (López y Pérez, 2019).

<b>PUNTO</b>	<b>COORDENADAS</b>	
	<b>NORTE (m.)</b>	<b>ESTE (m.)</b>
Puente “Av. República	898465	437540

A continuación se presenta una imagen del satélite Landsat (falso color) 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 San Rafael en el sector Las Campiñas (Figura 2.2)

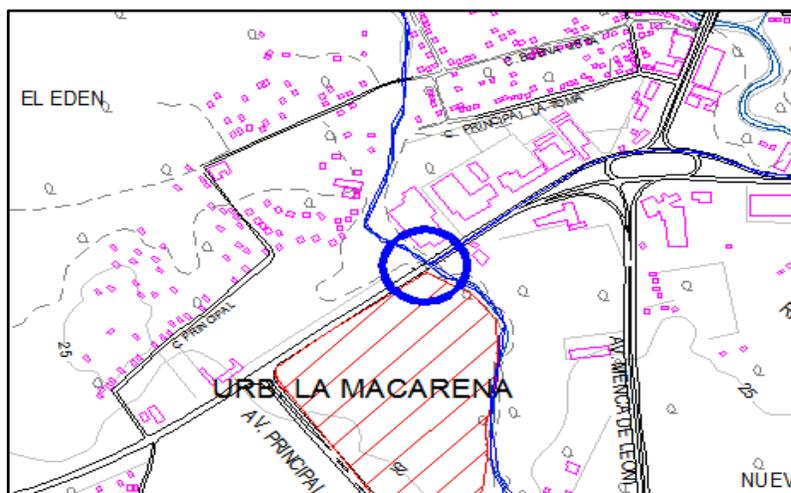


Figura 2.1 Ubicación local del puente sobre el río Buena Vista (Pérez y López, 2019).

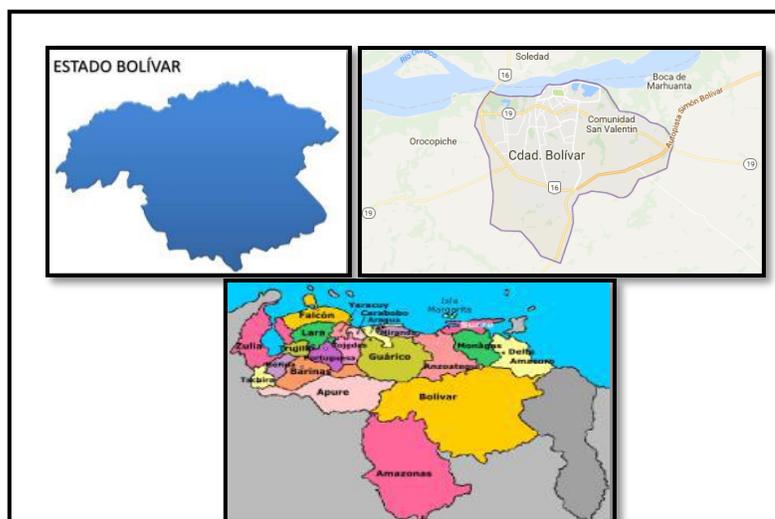


Figura 2.2 Ubicación relativa nacional del área de estudio (Pérez y López, 2019).

## **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. Por otro lado, la cuenca del río Buena Vista tiene un perímetro de 16.68 km y un área aproximada de 12.89 Km<sup>2</sup>. La topografía de Ciudad Bolívar tiene una cota aproximada de 60 m snmm; sin embargo, las partes más elevadas se encuentran en la parte sur de la ciudad (125 m snmm) y las más bajas en las riberas del río Orinoco a 12 m snmm, en el sector conocido como el casco histórico. En la zona de estudio, correspondiente a la cuenca baja del río Buena Vista, las elevaciones son alrededor de 25 m snmm.

### **2.2.2 Geomorfología**

Santiago bajo la asesoría del Yánez Pintado, G. (1991), 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 pleniplanación 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 multiconvexos, 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**

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

La cuenca del río Buena Vista 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 de río Buena Vista 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 Buena Vista está ubicado en Ciudad Bolívar, en una zona urbana, en la avenida República al cual se puede llegar desde la entrada oeste de Ciudad Bolívar viniendo desde el Puente Angostura sobre el río Orinoco desde el este viniendo del Terminal de Pasajeros de Ciudad Bolívar, desde el sur se puede llegar al puente sobre la avenida República viniendo de la parroquia La Sabanita a través de la avenida Menca de Leoni. Todas estas rutas tienen un buen acceso por vía terrestre (Figura 2.1).



Figura 2.3 Acceso al área de estudio (López y Pérez, 2019).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes**

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.

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.

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.

## **3.2 Bases Teóricas**

### **3.2.1 Precipitación**

Las precipitaciones son la fuente de agua, procedente de las nubes, que llega a la superficie terrestre, tanto en forma líquida como sólida. La cantidad de precipitación puede ser caracterizada según su distribución, diferencias climáticas y regímenes pluviométricos (Fernández, 1995).

### **3.2.2 Tipos de precipitaciones**

Las precipitaciones tienen su origen en la formación de nubosidad por la condensación de las gotas de agua y el enfriamiento del aire, dando origen a varios tipos de precipitaciones que dependen de cómo asciende el aire, clasificadas según Fernández 1995, en:

#### **3.2.2.1 Precipitaciones ciclónicas**

Es la que está asociada al paso de una perturbación ciclónica. Se presentan dos casos: frontal y no frontal. (Fernández, 1995).

La precipitación ciclónica o frontal puede ocurrir en cualquier depresión barométrica, resultando el ascenso debido a la convergencia de masas de aire que tienden a rellenar la zona de baja presión. Se asocia a un frente frío o a un frente cálido. (Fernández, 1995)

En los frentes fríos el aire cálido es desplazado violentamente hacia arriba por el aire frío, dando lugar a nubosidad de gran desarrollo vertical acompañada de chubascos que a veces son muy intensos, así como de tormentas y granizo. La precipitación del frente frío es generalmente de tipo tormentoso, extendiéndose poco hacia delante del frente. En los frentes cálidos el aire caliente asciende con relativa suavidad sobre la cuña fría, en general de escasa pendiente, dando lugar a una nubosidad más estratiforme que en el frente frío y, por lo tanto, a lluvias y lloviznas más continuas y prolongadas, pero de menor intensidad instantánea. (Fernández, 1995)

### **3.2.2.2 Precipitaciones convectivas**

Al calentarse las masas de aire en contacto con la corteza terrestre, se hace más ligero, se expande, pesa menos y se eleva. Al subir, se enfría y se produce la precipitación. Es característico de las latitudes cálidas y de las tormentas de verano. (Fernández, 1995).

### **3.2.2.3 Precipitaciones orográficas**

Es aquella que tiene su origen en el ascenso de una masa de aire, forzado por una barrera orográfica o montañosa. Se han desarrollado gran cantidad de instrumentos para la medición de la precipitación, la mayoría se refieren a la cantidad de estas, pero también pueden encontrarse aparatos para la medida de diámetro de gotas y de identificación del inicio y del fin de esta. (Fernández, 1995).

Se han desarrollado gran cantidad de instrumentos para la medición de la precipitación, la mayoría se refieren a la cantidad de estas, pero también pueden encontrarse aparatos para la medida de diámetro de gotas y de identificación del inicio y del fin de esta.

### **3.2.3 Evaporación**

Considerando la evaporación desde una superficie de agua (lagos, ríos, etc.) como la forma más simple del proceso, éste puede esquematizarse así: Las moléculas de agua están en continuo movimiento. (Norero, 1976).

Cuando llegan a la superficie del líquido aumentan su temperatura por efecto de la radiación solar, y en consecuencia su velocidad, creciendo por tanto su energía cinética hasta que algunas consiguen liberarse de la atracción de las moléculas adyacentes y atravesar la interface líquido-gas convirtiéndose en vapor. De esta manera, la capa de aire inmediatamente por encima de la superficie se satura de humedad. (Norero, 1976).

### **3.2.4 Infiltración y capacidad de infiltración**

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Muchos factores del suelo afectan el control de la infiltración, así como también gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración. (Vélez et al, 2002).

La capacidad de infiltración conocida también como “infiltrabilidad del suelo” es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a la presión atmosférica.

Sin embargo, una vez que la velocidad de aporte excede la infiltrabilidad del suelo es ésta última la que determina la velocidad real de infiltración; de ese modo el proceso es controlado por las características del perfil. (Gurovich, 1985).

Para medir la infiltración de un suelo se usan los infiltrómetros, que sirven para determinar la capacidad de infiltración en pequeñas áreas cerradas, aplicando artificialmente agua al suelo.

#### **3.2.4.1 Los infiltrómetros**

Se usan con frecuencia en pequeñas cuencas o en áreas pequeñas o experimentales dentro de cuencas grandes. Cuando en el área se presenta gran variación en el suelo y vegetación, ésta se subdivide en subáreas relativamente uniformes, de las cuales haciendo una serie de pruebas se puede obtener información aceptable. La aplicación más favorable de este equipo se obtiene en zonas experimentales, donde se puede evaluar la infiltración para diferentes tipos de suelo y contenido de humedad. Los infiltrómetros se pueden dividir en dos grupos: de carga constante y simuladores de lluvia. (Llamas, M. 1996).

#### **3.2.5 Aspectos geomorfológicos fluviales**

La morfología de sistemas fluviales es dinámica generando cambios a dicha morfología debido a erosión o depositación que ocurren durante escalas de tiempo relativamente breves. En muchos casos estos resultan de inestabilidad generadas por condiciones hidrológicas cambiantes o cambios en los patrones del uso del suelo, el cambio normal y progresivo no debe tomarse equivocadamente por indicios de inestabilidad. (Niño, Y. 2004).

### **3.2.5.1 Formas del cauce**

Grandes crecidas tienen un gran potencial para generar cambios morfológicos en el cauce, sin embargo, ellas ocurren con muy poca frecuencia. Pequeñas crecidas son mucho más frecuentes, pero no son efectivas desde el punto de vista de los cambios geomorfológicos. (Mármol, 2008).

- Caudal dominante o formativo: el caudal asociado a la crecida que alcanza el máximo trabajo formativo del cauce se denomina caudal dominante o formativo. En los ríos la mayor cantidad de trabajo formativo del cauce es producida por eventos de crecidas que ocurren, en promedio, entre dos veces por año y una vez cada cinco años (Petts and Amoros, 1996).

- Caudal de cauce lleno: el caudal de cauce lleno se ha relacionado, en un gran rango de ríos distintos, con períodos de retorno que van entre 1 a 3 años, con un valor medio de alrededor de 1.5 años (Leopold et al., 1992).

- Caudales de crecidas extremas: crecidas con caudales mayores producen el desborde de las riberas y la inundación de sectores aledaños. Ellas pueden causar socavación y erosión de sectores del cauce que pueden ser de importancia, pero que corresponden a eventos puntuales que no necesariamente definen el comportamiento de largo plazo del sistema.

### **3.2.5.2 Formas del lecho o fondo**

Según Niño, el flujo de agua sobre sedimento no cohesivo conduce a la formación de una gran variedad de ondas sedimentarias, genéricamente denominadas formas de fondo. Estas formas de fondo corresponden a estructuras de geometría bien

definida que presentan una periodicidad espacial característica. Las formas de fondo cubren un espectro bastante amplio de escalas espaciales, desde las más pequeñas, del orden del tamaño de los granos que forman el lecho móvil, hasta las más grandes, del orden del tamaño del canal que las contiene.

El número de Froude del flujo define la configuración del lecho. Incrementando el número de Froude el lecho irá cambiando de un lecho plano sin transporte a otras configuraciones. Las formas de lecho se clasifican, para cauces aluviales, según experiencias de laboratorio.

- Plano y sin transporte: la resistencia al flujo, anterior al inicio del movimiento de sedimentos, es equivalente a la situación de un cauce en lecho fijo. Se puede decir que, generalmente en el período de aguas bajas, en estiaje, no hay movimiento de los sedimentos del fondo. La resistencia al flujo depende básicamente de la rugosidad del lecho. Los valores del coeficiente “n” de Manning varían entre 0.012 y 0.014 dependiendo del tamaño de la arena. Después de que se inicia el movimiento, un lecho plano puede presentar rizos para arenas menores que 0.5 mm o dunas para arenas de tamaños mayores.

- Rizos: los rizos son ondulaciones triangulares con una pendiente suave en la cara de aguas arriba y la pendiente natural del material en la cara de aguas abajo. La longitud varía entre 12 y 60 cm. Su altura varía entre 0.6 cm y 6 cm. Su distribución en el lecho es irregular. El coeficiente n de Manning varía entre 0.018 y 0.030. Se forman si el tamaño del sedimento es menor que 0.5 mm. Las partículas se transportan principalmente en el fondo del lecho. Cuando el material consiste de arena muy fina y las velocidades del flujo son bajas, los rizos se conservan y no se vuelve a condición de lecho plano. Los rizos causan mínima alteración en la superficie del agua.

- Plano con transporte: si el número de Froude sigue aumentando, las dunas tienden a desaparecer y condiciones de lecho plano se pueden volver a presentar, provocando una disminución en la rugosidad del lecho. En este caso, el coeficiente de rugosidad de Manning varía entre 0.010 y 0.013. Un lecho con dunas puede cambiar directamente a uno con ondas estacionarias sin necesariamente implicar la formación de lecho plano.

- Ondas estacionarias: el lecho adopta aproximadamente una forma sinusoidal. Aunque las partículas se muevan aguas abajo, las ondulaciones pueden permanecer en el sitio o también pueden moverse. Las ondas estacionarias mantienen su forma durante algún tiempo. El coeficiente de rugosidad de Manning varía entre 0.011 y 0.016.

- Dunas: las dunas son ondulaciones mayores que los rizos con pendiente más suave aguas arriba y ángulo de reposo aguas abajo. La longitud de las dunas varía entre 0.6 m y varios metros. Se presentan cuando el esfuerzo cortante aumenta para causar movimiento de partículas pero con números de Froude menores que 1. La distribución de las dunas en el lecho y su altura son bastante irregulares. El coeficiente de rugosidad de Manning varía entre 0.018 y 0.040. Las dunas tienden a desaparecer para velocidades altas formando un lecho plano o pueden presentar rizos sobre ellas. Si el diámetro del material es mayor que 0.5 mm, rizos no se pueden formar, pero sí se da lugar a lecho plano con o sin transporte de sedimentos. Vórtices intermitentes con eje vertical se forman en la cara aguas abajo de las dunas y remueven grandes cantidades de arena del lecho, que son posteriormente transportadas en suspensión. Cuando la velocidad baja, las partículas caen nuevamente al fondo lo que puede tomar entre 20 y 60 segundos. Este proceso es conocido como saltación.

- Antidunas: al igual que las ondas estacionarias, las antidunas adoptan aproximadamente una forma de tren de ondas en el lecho del cauce que se manifiesta también en la superficie del agua. Aunque las partículas se muevan aguas abajo, las ondulaciones pueden permanecer en el sitio o también pueden moverse. Siguen un proceso de formación cíclico que demora de 0.5 a 2 minutos. Ellas crecen al moverse aguas arriba, luego se destruyen y después son lavadas por el flujo para empezar otra vez el ciclo. El coeficiente de rugosidad de Manning varía entre 0.012 y 0.020.

### **3.2.6 Movimiento de sedimentos en ríos**

El movimiento de una partícula de sedimento es función de las condiciones instantáneas del flujo y de su resistencia a moverse. El inicio del movimiento de las partículas se da cuando el flujo de agua está a punto de empezar a mover las partículas de sedimento y depende del esfuerzo cortante que una corriente produce sobre el lecho y de la velocidad media del flujo. (Niño, Y. 2004).

El movimiento de los sedimentos e ríos tropieza con varios problemas. La realización de las mediciones lleva tiempo y resulta cara; su precisión puede ser baja; incluso si se dispone de datos correctos sobre el movimiento de una corriente. (Dickinson y Bolton, 1992). El movimiento de los sedimentos en ríos se presenta de tres formas:

#### **3.2.6.1 Erosión**

La erosión es el proceso de arranque de materiales por los procesos geológicos. Es el mecanismo geológico de denudación de los continentes. Se ve favorecida por la meteorización, alteración y disgregación previa de las rocas. Se mide en masa de material rocoso arrancada por año por unidad de superficie (por ejemplo, en T/Km<sup>2</sup>

año), o como una disminución de nivel por año (por ejemplo, en cm/año). (Y. Niño, 2004). La erosión se condiciona por distintos tipos de factores:

- Climáticos: o relacionados con el ciclo hidrológico, comenzando por el impacto sobre el suelo de las gotas de lluvia, y continuando por la fuerza de arrastre del agua de escorrentía en vertientes o en los canales de la red de drenaje o Relacionados con las variaciones en la temperatura.
- Topográficos: u orientación del terreno, que controla la eficacia de los agentes climáticos o Inclinación y longitud de la pendiente, que condiciona el carácter de la escorrentía.
- Factores propios del suelo: o textura y granulometría, estratificación, porosidad, permeabilidad, humedad, composición de las partículas minerales, tipo de cobertura vegetal o grado de meteorización.

### **3.2.6.2 Transporte**

El transporte es la movilización de los fragmentos de roca meteorizados se realiza mediante un agente de transporte, un fluido. Se realiza mediante el detrimento a transportar por fuerzas de empuje, sustentación y fijación; por distintas formas de deslizamiento, rodadura, saltación, suspensión y transporte químico. (Niño, Y. 2004).

- Fuerzas de empuje: fuerza ejercida por el flujo sobre el clasto, y por tanto, de sentido contrario a las de resistencia del sólido al flujo. Se ven incrementadas por el choque entre partículas.

- Fuerzas de sustentación: tienden a elevar el detrito y mantenerlo en suspensión por efecto de la turbulencia. Cuanto mayor sea el clasto, mayor tendrá que ser la fuerza de sustentación.
- Fuerzas de fijación: definidas por el peso, rozamiento por deslizamiento, rozamiento por rodadura, rozamiento por pivotación y por las fuerzas de atracción entre las partículas.
- Deslizamiento: se produce cuando al aumentar la velocidad, las fuerzas de sustentación equilibran a las de fijación, y el detrito comienza a desplazarse deslizándose por el lecho en la dirección del flujo. Es el tipo de transporte que menor energía requiere.
- Rodadura: al aumentar la velocidad, también aumenta la fuerza de empuje y sustentación. En el momento en que las fuerzas de empuje igualan a las de fijación el clasto girará, desplazándose rodando.
- Saltación: si sigue aumentando la velocidad, las fuerzas de sustentación se hacen mayores que las de fijación, y el clasto se incorpora a la corriente y viaja en suspensión inmerso en el fluido, hasta que al ascender entra en una zona de menor turbulencia, en la que las fuerzas de sustentación disminuyen, predominando las de fijación, y el clasto cae.
- Suspensión: cuando las fuerzas de sustentación son suficientemente grandes como para mantenerse superiores a las de fijación, el detrito viaja suspendido en el seno del fluido de forma continua.

- Transporte químico: este es independiente de los anteriores. Cuando el fluido tiene capacidad de disolución (agua) y pasa a través de materiales solubles, se produce el transporte de los iones procedentes de la roca, en disolución.

### **3.2.6.3 Sedimentación**

La sedimentación es la acumulación de los materiales transportados por un agente geológico. La deposición se produce en unas condiciones ambientales de las que queda una impronta en el registro sedimentario. Para poder reconstruir el ambiente deposicional se ha recurrido al concepto de facies sedimentaria, que es una definición de una secuencia completa de sedimentos de cada tipo de ambiente, diferenciándose de otras facies por la composición, la edad y las características estructurales y texturales.(Niño, Y. 2004).Puede producirse por dos procesos:

- Decantación: caída o precipitación de los clastos al fondo. Ocurre cuando la corriente que los transportaba se detiene, o cuando las partículas se han formado en el mismo fluido que permanece en reposo, como los esqueletos calcáreos de los organismos microscópicos del plancton.
- Acreción cinética: se produce cuando los clastos que están siendo transportados tropiezan con un obstáculo que los detiene y se acumulan unos sobre otros.

### **3.2.7 Pendientes y secciones transversales**

Las secciones transversales son las elevaciones que se determinan a puntos situados perpendicularmente a la sección longitudinal. La sección longitudinal son las elevaciones que se determinan a lo largo del eje del trabajo a ejecutar. Se utilizan

sobre un terreno cuando se va a cortar o rellenar sobre un nivel determinado, se levanta perpendicular al eje longitudinal en todas las estaciones del eje. Las perpendiculares se pueden levantar al ojo, usando escuadra óptica, teodolito, etc. Midiendo la distancia indicada. En los cauces naturales las secciones transversales son irregulares y la medición de sus características geométricas se realiza con levantamientos batimétricos.(Casanova, L. 2010).

La pendiente de un terreno es aquella que genera un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal, pueden ser ascendentes o descendentes según el punto de observación. Es el cociente que resulta de dividir la diferencia de nivel existente entre dos puntos y la distancia y la distancia horizontal que separa ambos puntos. La pendiente se expresa en tanto por ciento (%) indicando el número, la diferencia de nivel existente por cada 100 unidades. En cauces naturales la pendiente longitudinal se mide a lo largo de la línea del agua, debido a que el fondo no es una buena referencia, tanto por su inestabilidad como por sus irregularidades. La pendiente de la línea del agua varía con la magnitud del caudal, y esa variación es importante cuando se presentan cambios grandes del caudal en tiempos cortos, por ejemplo al paso de crecientes.(Casanova, L. 2010).

En los períodos que tienen un caudal más o menos estable es posible relacionar las pendientes con los caudales utilizando registros de aforos.

### **3.2.8 Morfometría de cuencas fluviales**

Según Heras (1972), se entiende por cuenca vertiente, o cuenca de drenaje de un río, considerado en un punto dado de su curso, al área limitada por el contorno en el interior del cual el agua precipitada corre por su superficie, se encuentra y pasa por el punto determinado del cauce.

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella; sin embargo, la poca información cartográfica de la que se dispone, hace que el encontrar esa relación no sea fácil y que por lo tanto su uso en estudios hidrológicos sea limitado, por otra parte no se puede garantizar que toda la información morfométrica de las cuencas utilizadas para el estudio se pueda obtener en una misma escala, lo cual aumenta el grado de incertidumbre sobre la confiabilidad de los parámetros (UNAL, 1997).

### **3.2.8.1 Parámetros asociados a la forma de la cuenca**

La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente. La medición de los factores de forma de una cuenca se realiza por medio de una metodología que permite cubrir dos objetivos. El primero, es que permite comparar la forma de la cuenca con figuras geométricas conocidas; el segundo, es que permite comparar los resultados de las mediciones, los cuales son adimensionales, con los obtenidos en otras cuencas en las que se puede tener mayor información histórica de su comportamiento hidrológico. (Chow et al., 1994).

- Area (A): está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; éste parámetro se expresa normalmente en  $\text{km}^2$ .

- Perímetro (P): es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Éste parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros.

- Longitud de la cuenca (L): se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (estación de aforo) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

- Ancho de la cuenca (B): se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca.

- Orientación: la orientación se determina de acuerdo a la orientación del río principal de la cuenca en relación al Norte y se considera su influencia especialmente en las zonas de ladera en donde la inclinación de las vertientes afectará la influencia solar. La orientación de la cuenca con respecto al movimiento del sol y a la interposición de las cadenas montañosas con respecto a las corrientes de aire, es un factor que influye en su comportamiento hidro-meteorológico.

- Factor forma de Horton ( $K_f$ ): es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca.

$$K_f = A / L^2 \quad (3.1)$$

Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, está menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma. Un valor de  $K_f$  superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. (Horton R. E., 1932).

- Coeficiente de compacidad: propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la

cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas o divisoria que la encierra y el perímetro de la circunferencia.

Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno.

$$K_C = P / P_C = P / 2\pi R \quad (3.2)$$

Donde:

$P$  = perímetro de la cuenca (longitud de la línea parteaguas)

$P_C$  = perímetro de la circunferencia

$R$  = radio de la circunferencia.

- Razón de elongación: se define como la relación entre el diámetro de un círculo que posea la misma área de la cuenca y cuyo diámetro sea igual la longitud de la cuenca y su formulación matemática es la siguiente:

$$Re = \frac{D}{Lc} 1.128 \left( \sqrt{\frac{Ac}{Lc}} \right) \quad (3.3)$$

Dónde:

$Re$  = Relación de elongación o cociente adimensional entre

$D$  = Diámetro de un círculo de la misma área de la cuenca

$Lc$  = Longitud de la cuenca

El valor de la relación de elongación se acerca a la unidad cuando la cuenca es muy plana y circular, cuando la cuenca es plana con porciones accidentales, la relación de elongación está entre 0.5 y 0.8.

### **3.2.8.2 Parámetros relativos al relieve**

A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje yafluentes del cauce principal, (Navarrete,2004). Algunos parámetros destacan:

- **Altura y elevación:** de este parámetro dependen en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas de un territorio. Los elementos más representativos de las cuencas, derivados de la elevación son:

*Cota mayor de la cuenca (CM):* es la mayor altura a la cual se encuentra la divisoria de la cuenca (msnm.).

*Cota menor de la cuenca (Cm):* es la cota sobre la cual la cuenca entrega sus aguas a un cauce superior (msnm.).

*Elevación promedia del relieve:* es la elevación promedia de la cuenca referida al nivel del mar.

*Histograma de frecuencias altimétricas:* corresponde a la estimación del histograma de frecuencias de las elevaciones en la cuenca.

- Pendiente: son los distintos niveles de inclinación en la que se encuentra la cuenca.

*Pendiente media de la cuenca (S)*: es el valor medio del declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la cuenca.

*Histograma de pendientes*: permite conocer la distribución el porcentaje asociado a cada tipo de pendientes.

- Curva hipsométrica: Con el propósito de comparar la cuenca con otros sistemas hidrográficos se empleó el criterio propuesto por Campos (1999), que considera la relación entre las alturas parciales y la altura total, así como las áreas parciales entre curvas de nivel y el área total. En base al análisis hipsométrico, podremos determinar el ciclo erosivo y la etapa evolutiva en que se encuentra la cuenca.

### **3.2.8.3 Parámetros relativos al perfil**

- Cota mayor del cauce (CMc): elevación del punto más alto del cauce (msnm.).

- Cota menor del cauce (Cmc): coincide con la cota menor de la cuenca (msnm.).

- Pendiente promedio del cauce (S<sub>0</sub>): con base en el perfil altimétrico a lo largo del río se puede encontrar la pendiente de la recta ajustada a parejas de valores obtenidos en intervalos iguales a lo largo del cauce. Se aplica la técnica de los mínimos cuadrados.

- Longitud del cauce principal ( $L_c$ ): corresponde a la longitud del cuerpo de agua que le da nombre a la cuenca de estudio, en este parámetro se tienen en cuenta la sinuosidad cauce; éste parámetro se expresa normalmente en kilómetros.

- Longitud del cauce hasta la divisoria ( $L_f$ ): se estima prolongando longitud del cauce principal hasta la divisoria sumándole la distancia en línea recta que separa ambas medidas.

#### **3.2.8.4 Parámetros relativos al drenaje**

- Orden de los cauces: el orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos para realizar tal clasificación. En este caso se optó por el método de Horton, el cual se fundamenta en los siguientes criterios: Se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se unen, resulta una corriente de orden dos. De manera general, cuando dos corrientes de orden  $i$  se unen, resulta una corriente de orden  $i+1$ . Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden.

- Longitud de los cauces de orden uno ( $L_1$ ): una vez establecidos los cauces de orden uno, se miden las longitudes de dichas corrientes.

- Densidad de drenaje ( $D_d$ ): este índice relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas.

$$D_d = \frac{\text{Longitud de corriente (km)}}{\text{Área de cuenca (Km2)}}(3.4)$$

Con el fin de catalogar una cuenca como bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de densidad de drenaje próximo a 0.5 km/km<sup>2</sup> o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje.

- Coeficiente de torrencialidad (Ct): índice que mide el grado de torrencialidad de la cuenca, por medio de la relación del número de cauces de orden uno con respecto al área total de la misma. A mayor magnitud, mayor grado de torrencialidad presenta una cuenca.

$$C_t = \frac{\# \text{Cauces Orden 1}}{\text{Área Cuenca (km2)}}(3.5)$$

- Relaciones de Bifurcación (Ct): utilizando la jerarquización de Horton, Strahler (1969) propuso las razones de bifurcación.

$$R_b = N_u / N_{u+1}(3.6)$$

Donde:

$N_u$  corresponde al número de corrientes o cauces de orden  $u$

- Tiempo de concentración: tiempo que tarda en llegar una gota de agua de lluvia desde el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca a la sección de salida, calculándose mediante la siguiente fórmula:

$$tc = \frac{(4\sqrt{L} + 1.5L)}{(0.8\sqrt{H})} \quad (3.7)$$

Donde:

$t_c$  = Tiempo de concentración (h).

$S$  = Área de la cuenca ( $\text{km}^2$ ).

$L$  = Longitud del cauce principal (km).

$H$  = Elevación media de la cuenca (km).

### **3.2.9 Determinación del caudal aportado por la cuenca**

El cálculo del caudal que produce una cuenca sin aforar su cauce principal puede ser obtenido mediante la estimación de la cantidad de agua que penetra la superficie (fenómeno de abstracción) o la cantidad de líquido que se llega a escurrir ante la presencia de un evento lluvioso. En nuestro país la medición de caudales se realiza solo para los grandes ríos, por lo tanto los métodos directos tienen poca aplicación en drenaje menor y drenaje urbano. Es por la cual que el método racional es el más empleado en estos casos. (Camacho, 2004).

- Fórmulas Empíricas: recomendadas solo a nivel de estudios preliminares.
- Métodos Directos: cuando se dispone de información pluviométrica.
- Métodos Indirectos: a partir de los datos de precipitación.

En nuestro país la medición de caudales se realiza solo para los grandes ríos, por lo tanto los métodos directos tienen poca aplicación en drenaje menor y drenaje urbano.

De los métodos indirectos más utilizados en drenaje urbano está el método racional, existen sin embargo infinidad de métodos, los cuales se pueden consultar en los diferentes libros de hidrología. (Camacho, 2004).

### 3.2.10 Método racional

Es el más común para determinar el escurrimiento en un área dada. Sin dejar de lado a Venezuela, donde el INOS tradicionalmente ha venido empleándolo, el cálculo del gasto se hace de acuerdo a la fórmula:

$$Q = C \cdot I \cdot A \quad (3.8)$$

Donde:

$Q$  = gasto máximo en litros/segundos

$I$  = vendría siendo la intensidad de la lluvia expresada en litros/sg por hectáreas

$A$  = área tributaria en hectáreas

$C$  = coeficiente de escorrentía

El método supone que si sobre un área determinada cayese una precipitación de intensidad uniforme en el tiempo y en el espacio, llegara un momento en que la cantidad de agua que cae equivale a la que sale del área, siempre y cuando esta sea impermeable. Este método se usa prácticamente en todos los proyectos de drenaje vial, urbano o agrícola, siempre teniendo en cuenta que producirá resultados aceptables en áreas pequeñas y con alto porcentaje de impermeabilidad, por ello es recomendable que su uso se limite a cuencas con extensiones inferiores a las 200 Ha. (Bolinaga, 1979).

El tiempo en el cual se alcanza la equivalencia es el denominado tiempo de concentración  $t_c$ . Aun en el caso de que el área fuese totalmente impermeable, existirían pérdidas por evaporación y almacenamiento en depresiones, por ello el coeficiente  $C$  ajusta la relación entre el volumen precipitado por unidad de tiempo  $i A$ , al volumen escurrido por unidad de tiempo; es decir,  $C$  es una relación de escurrimiento- precipitación. El método tiene una serie de limitaciones que son:

1. Supone que la lluvia es uniforme en el tiempo (intensidad constante) lo cual es sólo cierto cuando la duración de la lluvia es muy corta.

2. El Método Racional también supone que la lluvia es uniforme en toda el área de la cuenca en estudio, lo cual es parcialmente válido si la extensión de ésta es muy pequeña.

3. Asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación (si duplica la precipitación, la escorrentía se duplica también). En la realidad, esto no es cierto, pues la escorrentía depende también de muchos otros factores, tales como precipitaciones antecedentes, condiciones de humedad antecedente del suelo, etc.

4. Ignora los efectos de almacenamiento o retención temporal del agua escurrida en la superficie, cauces, conductos y otros elementos (naturales y artificiales).

5. Asume que el período de retorno de la precipitación y el de la escorrentía son los mismos, lo que sería cierto en áreas impermeables, en donde las condiciones de humedad antecedente del suelo no influyen de forma significativa en la escorrentía superficial.

### **3.2.11 Puente**

Según Arnal (2000), 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. Compuesto por estribos, cimientos y las pilas.

#### **3.2.11.1 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.

#### **3.2.11.2 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

#### **3.2.11.3 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.

### **3.2.12 Socavación local en pilas**

La socavación es un proceso que se produce a largo y corto plazo o transitorio. Alrededor de las pilas o estructuras en la mitad de un cauce se forman sistemas de remolinos o vórtices y estos remolinos generan socavación. Generalmente, se genera un remolino en herradura y un remolino de estela o perturbación de dinámica del flujo. El mecanismo de socavación depende principalmente del remolino de herradura. Los sedimentos son levantados y sacados del hueco de socavación por este gran remolino en combinación con el remolino de estela. La velocidad de rotación del remolino es mayor aproximadamente a 70 grados del eje de la corriente en una pila cilíndrica. La fosa de socavación tiene una profundidad y ancho variables. (Suarez, J. 2006).

Para determinar con aproximación suficiente la profundidad máxima que alcanzará la socavación en la proximidad de las pilas del puente la cual produce la capacidad de arrastre de la corriente, habrá de clasificarse en tres grupos.

1. La socavación general, a lo largo del cauce. Que ocurre, cuando al aumentar el caudal, se incrementa la capacidad de arrastre de la corriente, con la consiguiente disminución de nivel, del fondo del río.

2. La socavación localiza en la sección del cruce y en las zonas adyacentes a ella. Que se presentara porque la obstrucción que representa para el escurrimiento la presencia de las pilas, o la disminución del ancho de la sección transversal para acotar

la longitud del puente. Trae consigo un aumento de la velocidad media de la corriente en la zona mencionada, con que también crece la capacidad de arrastre.

3. Una socavación local, en la cara aguas arriba de las pilas, que ocurrirá porque la alteración del flujo produce la presencia de tales estructuras, da lugar a corrientes transversales con gran capacidad erosiva.

La estimación de la profundidad de la socavación local se realiza mediante métodos empíricos obtenidos tanto en campo como en laboratorios por diversos estudios.

### **3.2.13 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.

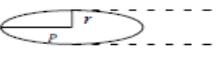
FORMA DE LA NARIZ		COEFICIENTE $K_f$ DE SCHNEIBLE
RECTANGULAR $l/a = 4$		1.00
SEMICIRCULAR		0.90
ELIPTICA	$\frac{p}{r} = \frac{2}{l}$ $\frac{p}{r} = \frac{3}{l}$ 	0.81
		0.75
LENTICULAR	$\frac{p}{r} = \frac{2}{l}$ $\frac{p}{r} = \frac{3}{l}$ 	0.81
		0.69
FORMA DE LA NARIZ		SEGÚN TISON
BISELADA $l/a =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

Figura 3.1 Coeficiente  $K_f$ . (Juárez de Badillo E. y Rico Rodríguez A. 1992).

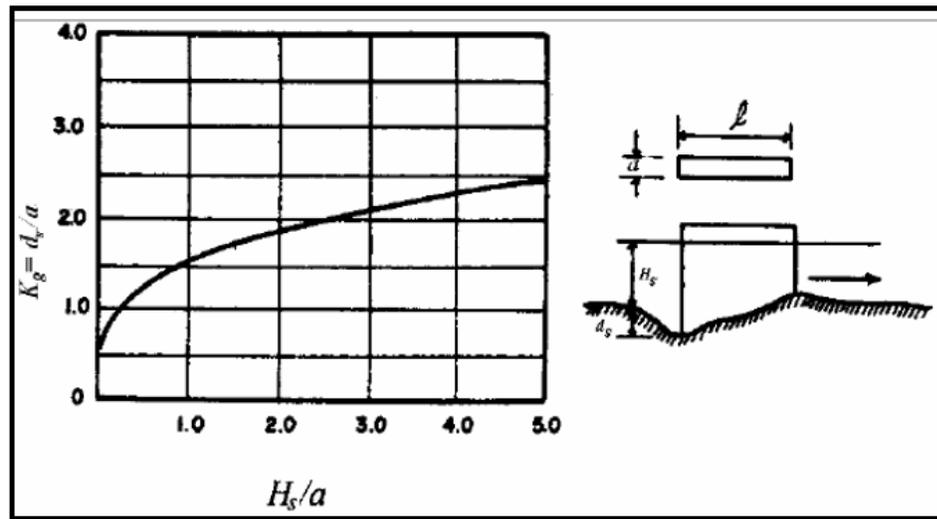


Figura 3.2 Coeficiente  $K_g$ . Método Laursen y Toch. (Juárez y Rico, 1992).

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

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

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.

### 3.2.14 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 detalla los pasos a seguir mediante este método.

#### 1. Cálculo del cuadrado del número de Froude de la corriente

$$Fr^2 = \frac{V^2}{gH_s} \quad (3.11)$$

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.

$$V_r = \frac{\alpha h^{3/5}}{H_s} \quad (3.12)$$

2. Evaluación del factor de corrección  $f_c$  que considera el ángulo de ataque de la corriente.

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

$\phi$	0°	15°	30°	45°
$f_c$	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  $Fr^2 \geq 0.06$ , entonces se trabaja con la siguiente expresión:

$$Fr^2 = f_c \frac{v^2}{gHs} \quad (3.13)$$

3. Cálculo de la relación  $Hs/a'$

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

4. Selección de la curva a usar dependiendo de la forma del pilar, (Figura 3.4, Figura 3.5 o Figura 3.6).

5. 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  $d_s$ .

$$d_s = H_T - H_S \quad (3.14)$$

Donde:

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

$d_s$  = Profundidad de socavación medida desde el fondo de cauce.

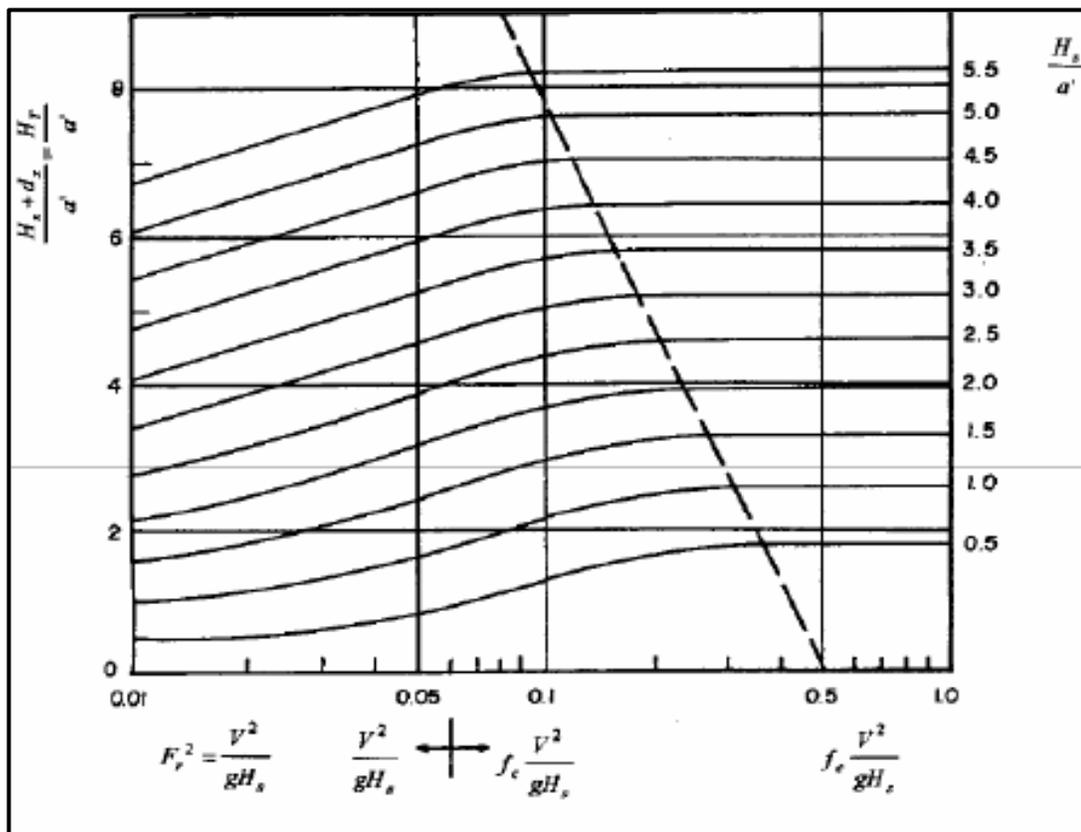


Figura 3.3 Cálculo de la socavación local en un pilar rectangular (Maza Álvarez, 1987).

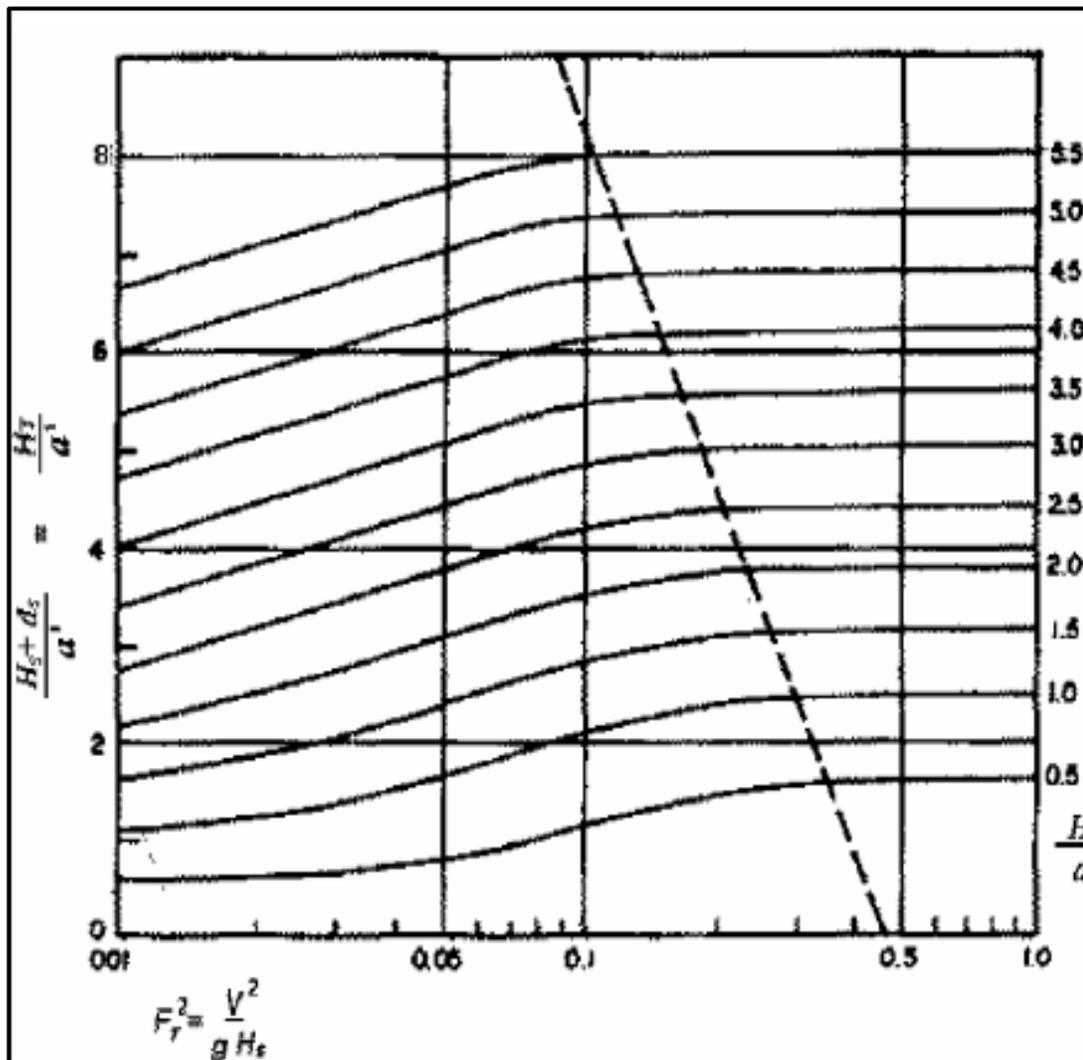


Figura 3.4 Cálculo de la socavación local para un pilar circular (Maza Álvarez 1987).

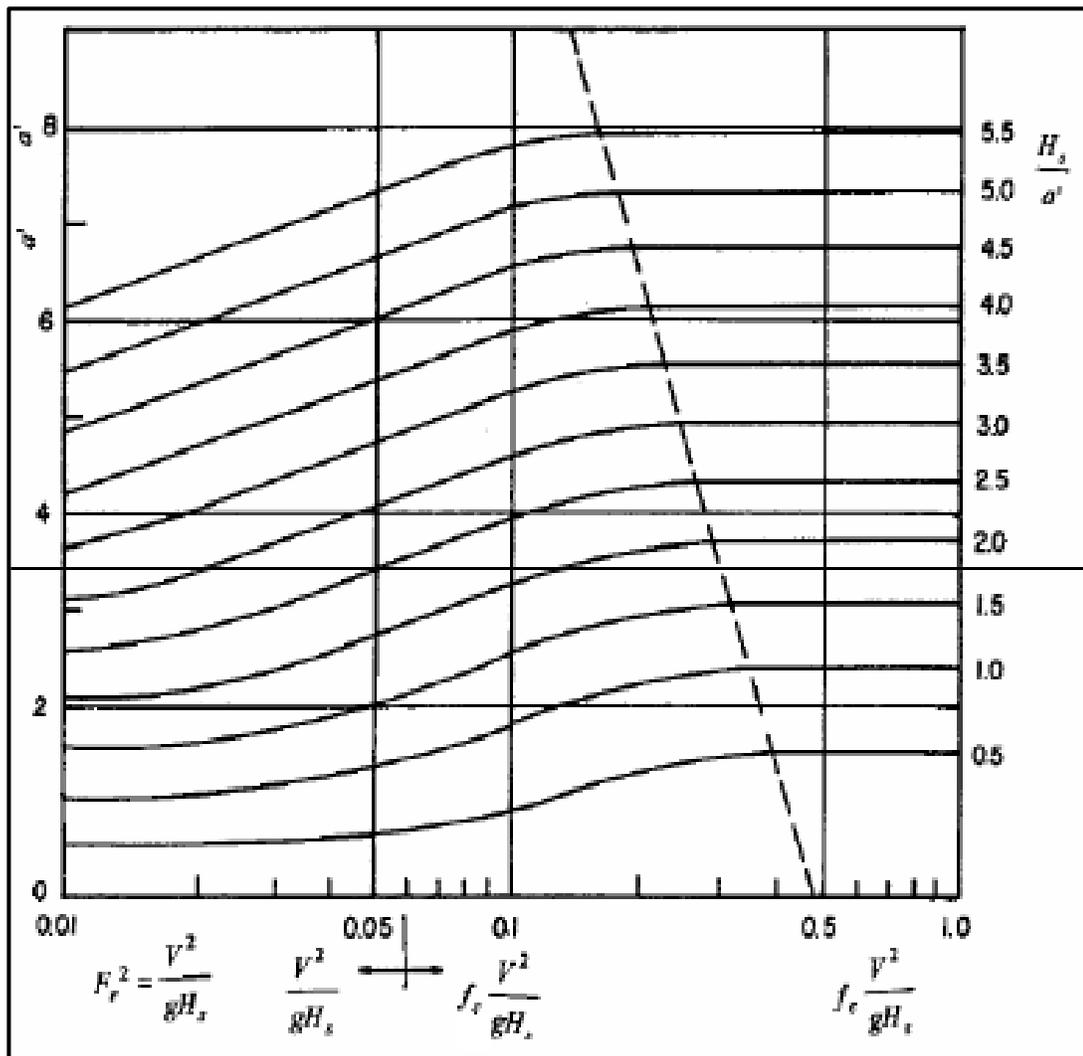


Figura 3.5 Cálculo de la socavación local en una pila elongada (Maza Álvarez, 1987).

### 3.2.15 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).

$$d_s = 0,32 K_f (a')^{0,62} h^{0,47} Fr^{0,22} D_{50}^{-0,09} \quad (3.15)$$

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)

$Fr$  = 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

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

$$y_s \leq 2.4 a, \text{ para } Fr \leq 8.0$$

$$y_s \leq 3.0 a, \text{ para } Fr > 8.0$$

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

### 3.2.16 Método de Yaroslaziev

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.

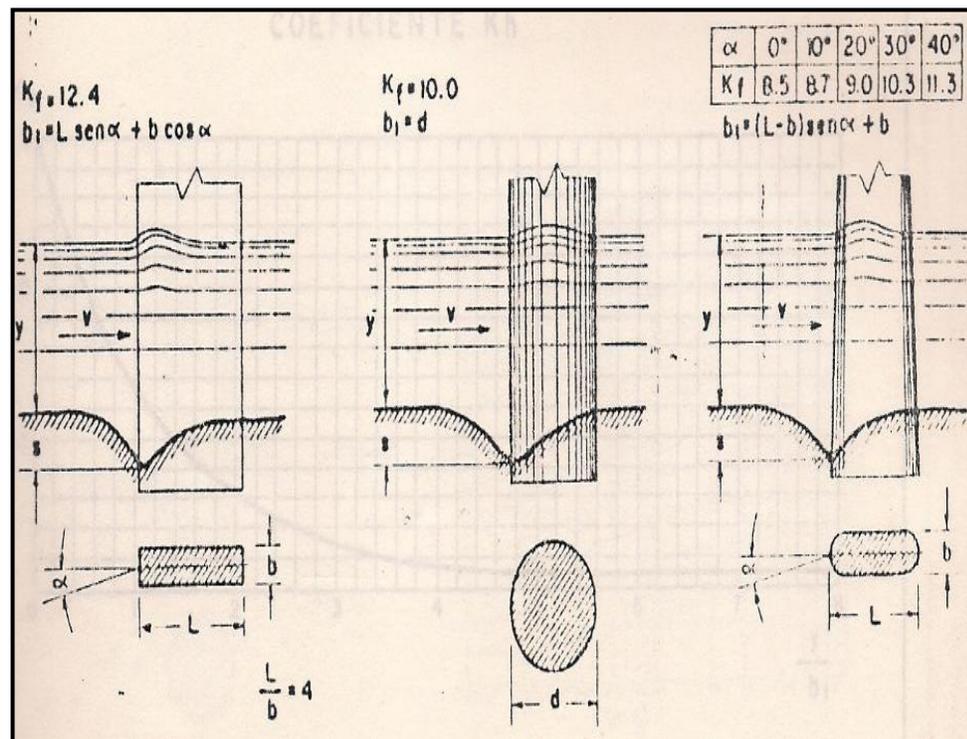


Figura 3.6 Coeficiente  $K_f$  (Falcón, 1990).

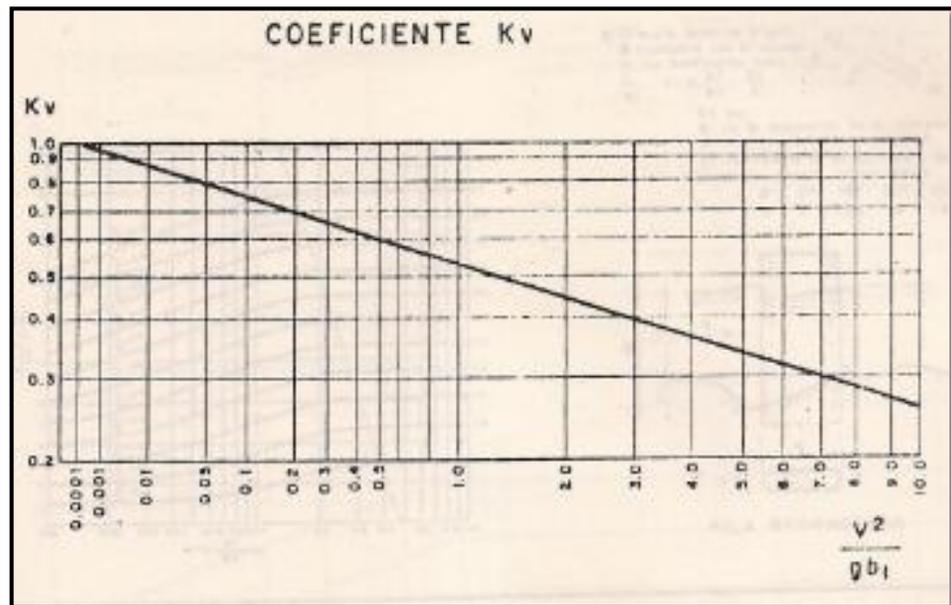


Figura 3.7 Coeficiente  $K_V$  (Falcón, 1990).

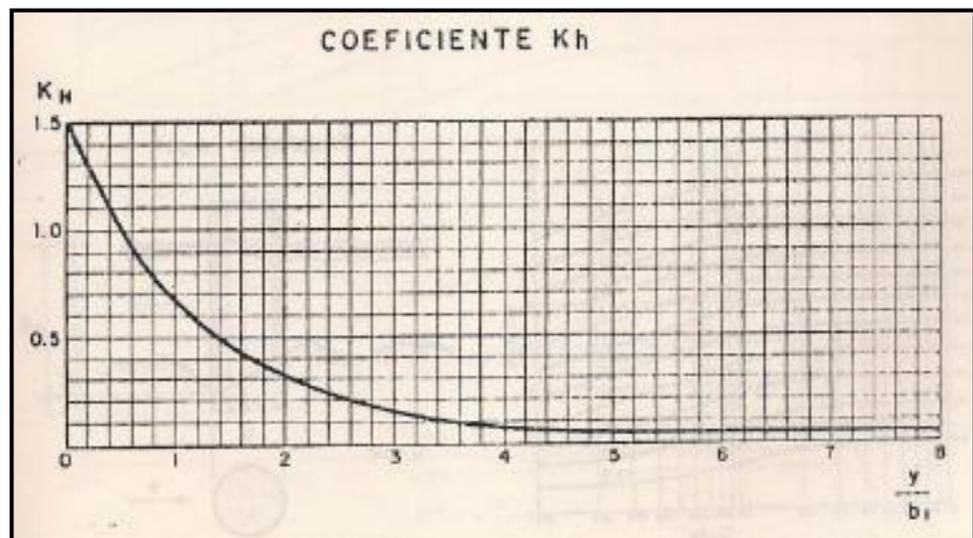


Figura 3.8 Coeficiente  $K_H$  (Falcón, 1990).

### **3.3 Bases legales**

#### **2.4 Aspectos 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:

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

###### **2.4.1.1 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.

### **2.4.1.2 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.

### **2.4.1.3 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.

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

##### **2.4.2.1 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**

Según Sabino, C. (1986) “La investigación de tipo descriptiva trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Para la investigación descriptiva, su preocupación primordial radica en descubrir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento. De esta forma se pueden obtener las notas que caracterizan a la realidad estudiada”.

La investigación se cataloga de tipo descriptiva y proyecto factible, debido a que en ella se describirán los parámetros climáticos, parámetros texturales de los sedimentos, parámetros hidráulicos del río Buena Vista, parámetros dimensionales y geométricos de las pilas y las relaciones entre éstas, y los parámetros anteriores y se propondrán medidas de mitigación a la socavación.

#### **4.2 Diseño de la 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, A. (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.

Esta investigación es documental, porque la información como los datos climatológicos serán 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.

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

Según Balestrini, M. (2006), “Una población o universo puede estar referido a cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación”.

Para fines de esta investigación, la población estará representada por los sedimentos, el agua y los eventos de carácter antrópico que se encuentren en la cuenca media del río Buena Vista, en el área de estudio.

### **4.4 Muestra de la investigación**

Según Balestrini, M. (2006), “La muestra es un subconjunto representativo de un universo o población”.

En este caso, la muestra estará representada por cinco (5) ejemplares de suelos muestreados que han sido arrastrados por el río Buena Vista, y que han sido

colectados para su posterior análisis textural en laboratorio. Bajo un criterio opinático debido a la homogeneidad de los materiales presentes en el cauce y riberas del río Buena Vista en el área de estudio.

## **4.5 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”.

#### **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”.

Se recurrirá a la recopilación de datos, a través de la consulta de textos, trabajos de grado, manuales, usando la biblioteca de la Universidad de Oriente, núcleo Bolívar. También a través del servicio electrónico de internet, se realizarán consultas para obtener información actual con respecto al tema investigado.

#### **4.5.2 Instrumentos para la 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, ecosonograma”.

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.

#### 4.6 Flujograma de la investigación

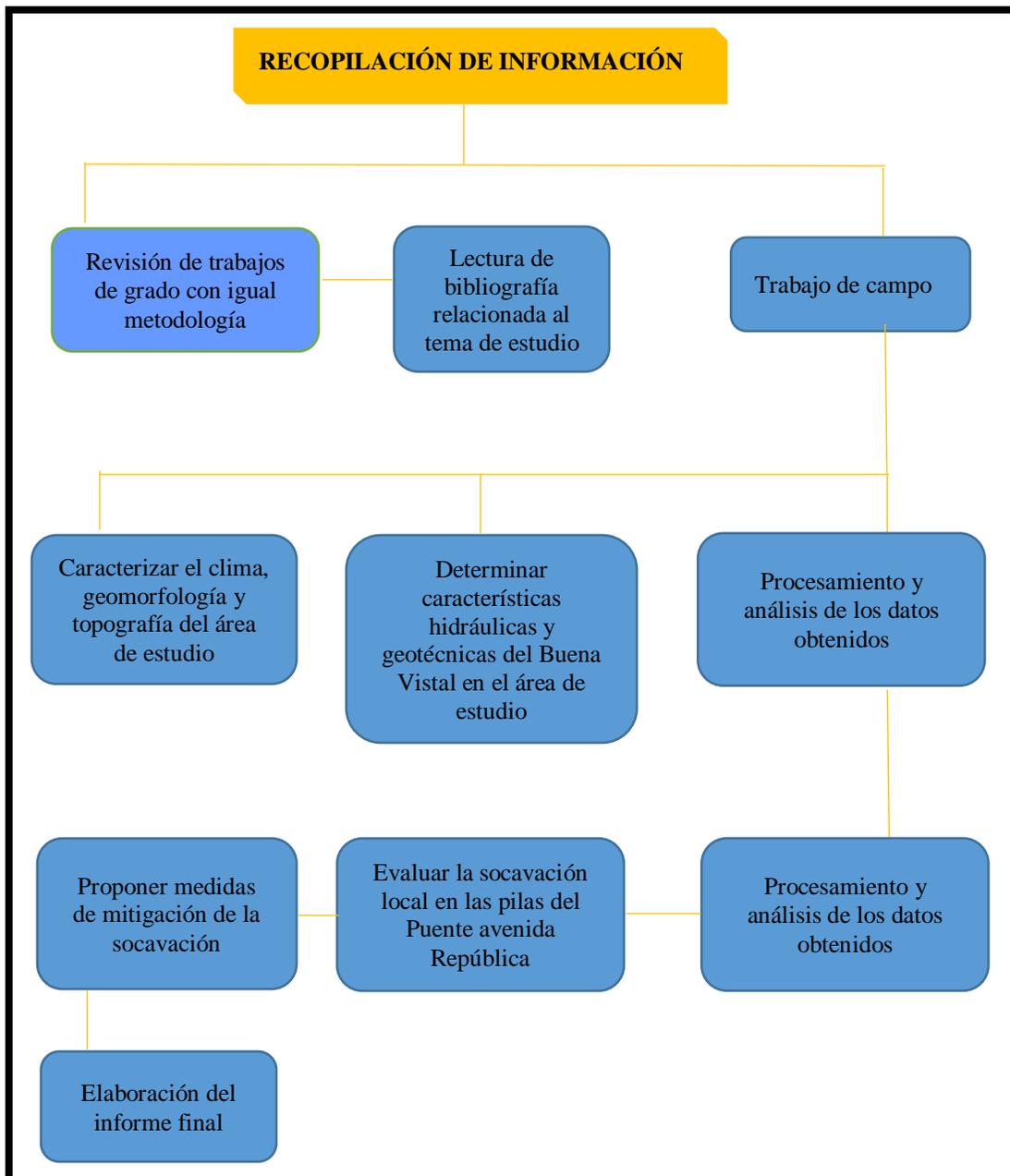


Figura 4.1 Flujograma de la investigación (López y Pérez, 2019).

## **4.7 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.

### **4.7.1 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 medidos y registrados por el INAMEH correspondientes a los últimos presentados por dicha institución en su página web.

### **4.7.2 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.

### **4.7.3 Determinación de las características hidráulicas del río Buena Vista**

El proceso para determinar las características hidráulicas del río Buena Vista 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.

#### **4.7.4 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 1140 y ASTM C 136) para construir sus respectivas curvas de distribución granulométrica.

#### **4.7.5 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 y por Froehlich,. 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 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 Buena Vista: 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. Asimismo, la información climatológica es administrada por el Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

##### **5.1.1 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 5.1 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.

Tabla 5.1 Precipitación media mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.012. (INAMEH, 2019).

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

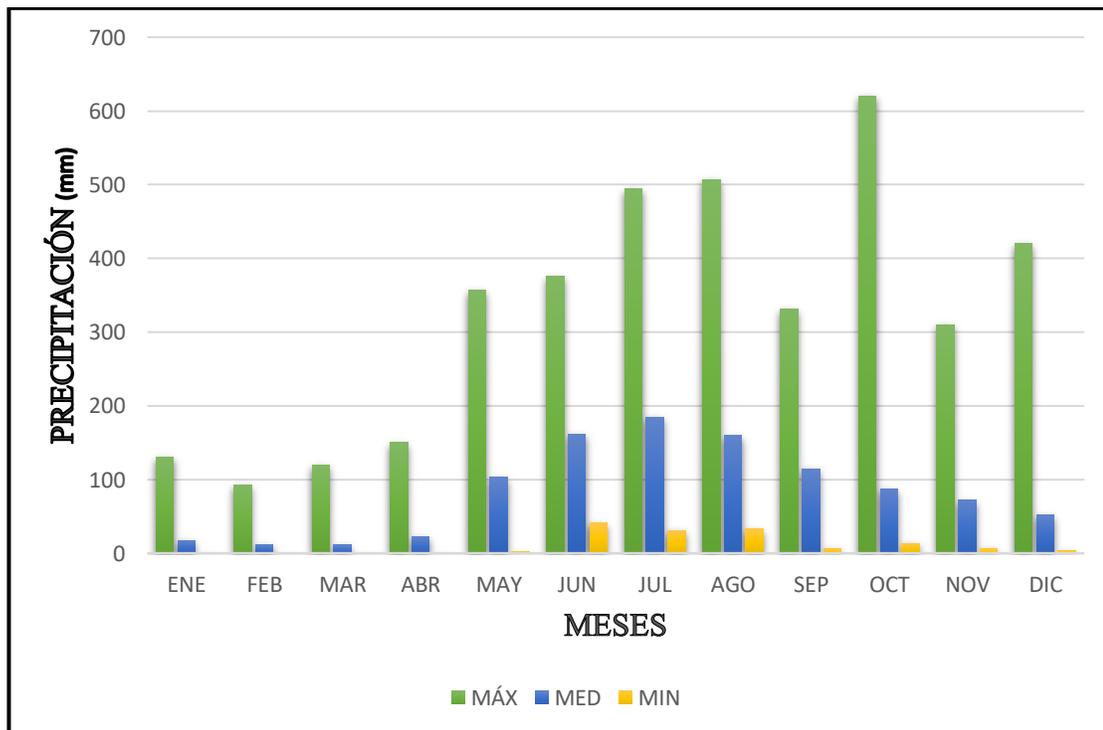


Figura 5.1 Precipitación máxima, media y mínima mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.012. (INAMEH, 2019).

La precipitación, responde a un régimen de tipo unimodal, es decir, presenta un valor medio máximo de lluvia mensual promedio espacial para el período de 184.9 mm para el mes de julio y un mínimo de 11.0 mm para el mes de febrero respectivamente.

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.

### 5.1.2 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 5.2 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, 2019).

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

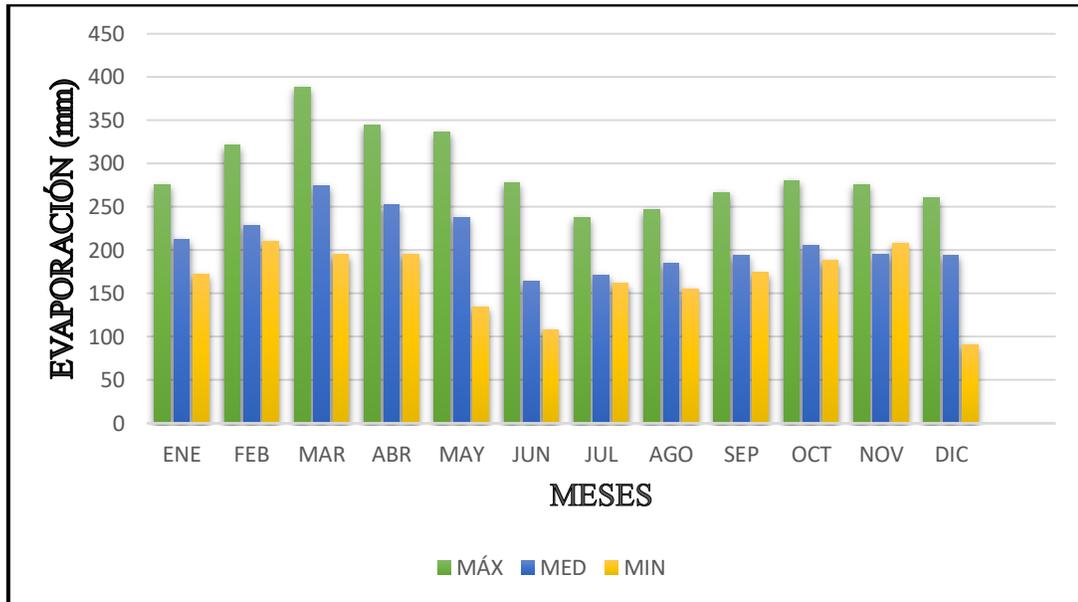


Figura 5.2 Evaporación Media mensual en (mm). Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659 – Estado Anzoátegui Período 1.987 – 2012 (INAMEH, 2019).

En la Figura 5.2, 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.

### 5.1.3 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 (°C). Estación: Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1987–2012 (20 Años). (INAMEH, 2019).

Temp.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MED.	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
MÁX.	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
MIN.	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 5.3, muestra la Temperatura media anual del período climatológico considerado.

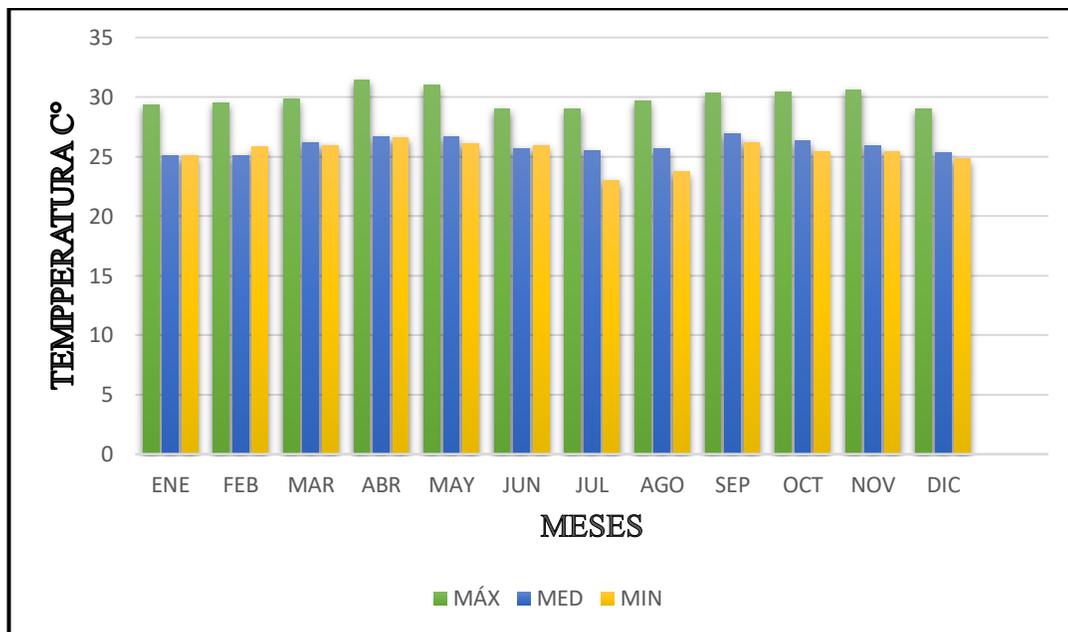


Figura 5.3 Temperatura media mensual en (C°). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987 – 2.012 (INAMEH, 2019).

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.

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

Con la objeto de efectuar una descripción de carácter geomorfológico de la zona de estudio se levantaron las secciones transversales del cauce (Apéndice A, Figuras A1, A2, A3, A4 y A5), el perfil longitudinal del río Buena Vista (Apéndice A, Figura A6) a partir del levantamiento topográfico plani-altimétrico realizado.

Mediante el estudio topográfico se puede observar que el río San Rafael transcurre en el intervalo de estudio manteniendo profundidades que pudieran considerarse someras, es decir, inferiores a 1.0 m que mantiene una pendiente longitudinal del lecho de 0.079202 (para una distancia total entre secciones transversales de 20.0 m).

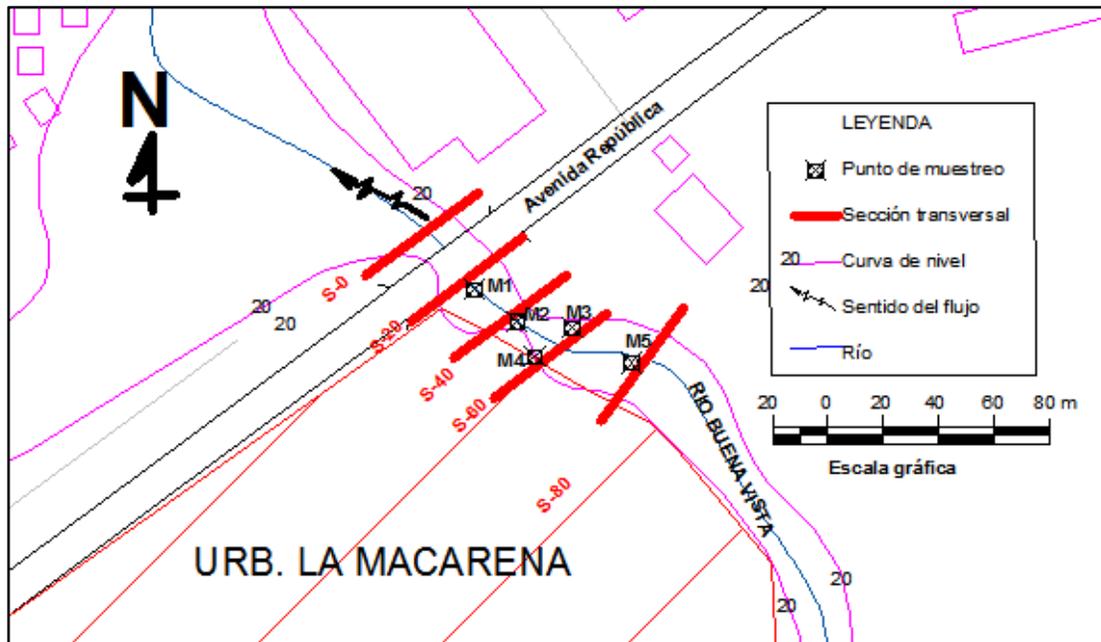


Figura 5.4 Croquis de ubicación de secciones transversales (López y Pérez, 2019).

Igualmente, se puede observar en el área de estudio que el río mantiene un trayecto con leves sinuosidades características y muy poca tendencia al meandro.

Siguiendo la descripción, las terrazas de inundación del río se han observado afectadas por las actividades antrópicas como las descargas de desechos sólidos y dragado del cauce del río (la acción del hombre) por lo cual no se observan notoriamente en sus márgenes. No obstante, es posible cuantificar una pendiente general de los taludes que fluctúan entre 1 y 2 grados aproximadamente.

### 5.3 Determinación de las características hidráulicas del río Buena Vista

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

A continuación en la Figura 5.4 se presenta la cuenca del río Buena Vista delimitada aguas arriba del puente de la avenida República.



Figura 5.4 Imagen de satélite Landsat mostrando la delimitación de la cuenca del río Buena Vista.(López y Pérez, 2019).

Delimitada la cuenca, se procedió al cálculo de su área proyectando un valor de 1289 ha y un perímetro de 16.68km.

De la misma forma, se delimitaron dentro de la cuenca, tres (3) sub-áreas según se describe en la tabla siguiente:

Tabla 5.4 Sub-áreas delimitadas dentro de la cuenca (López y Pérez, 2019).

<b>TIPO DE SUPERFICIE</b>	<b>ARÉAS (ha)</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Zona de bosque	121,15	9.40
Zona urbanizada	1018.02	78.97
Zona de suelos pesados desnudos	149,83	11.63
<b>TOTAL</b>	1289	100

El área total de la superficie de la cuenca se encuentra cubierta fundamentalmente por bosques de galería, pendientes arbustivas rodeadas de zonas urbanas y suelos de arena gruesa.

### **5.3.2 Determinación de los coeficientes de escorrentía**

Cada tipo de superficie de las áreas delimitadas internamente en la cuenca tiene por sus características un coeficiente de escurrimiento promedio que se corresponde con una apreciación del porcentaje del agua que escurrirá superficialmente en función del total de la precipitación que ocurra en un período determinado. De acuerdo a los criterios expuestos por Aparicio (1999) y Benítez (1980).

En la Tabla 5.7 se presentan los coeficientes de escurrimiento seleccionado por los criterios de Aparicio y Benítez descritos en la Tabla 5.5 y 5.6 para cada área en estudio dentro de la cuenca. Por lo cual se puede determinar un coeficiente de escorrentía ponderado para toda la cuenca.

Tabla 5.5 Coeficiente de escorrentía (Aparicio, 1999)

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía	
	Máximo	Mínimo
Zona comercial	0,70	0,95
Vecindarios, zona de edificios, edificaciones densas	0,50	0,70
Zonas residenciales unifamiliares	0,30	0,50
Zonas residenciales multifamiliares espaciadas	0,40	0,60
Zonas residenciales multifamiliares densas	0,60	0,75
Zonas residenciales semiurbanas	0,25	0,40
Zonas industriales espaciadas	0,50	0,80
Zonas industriales densas	0,60	0,90
Parques	0,10	0,25
Zonas deportivas	0,20	0,35
Estaciones e infraestructuras viarias de ferrocarril	0,20	0,40
Zonas suburbanas	0,10	0,30
Calles asfaltadas	0,70	0,95
Calles hormigonadas	0,70	0,95
Calles adoquinadas	0,70	0,85
Aparcamientos	0,75	0,85
Techados	0,75	0,95
Praderas (suelos arenosos con pendientes inferiores al 2%)	0,05	0,10
Praderas (suelos arenosos con pendientes intermedias)	0,10	0,15
Praderas (suelos arenosos con pendientes superiores al 7%)	0,15	0,20
Praderas (suelos arcillosos con pendientes inferiores al 2%)	0,13	0,17
Praderas (suelos arcillosos con pendientes intermedias)	0,18	0,22
Praderas (suelos arcillosos con pendientes superiores al 7%)	0,25	0,35

Tabla 5.6 Coeficientes de escorrentía (Benítez, 1980).

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla 5.7 Coeficiente de escurrentía ponderado para toda la cuenca (López y Pérez, 2019).

Tipo de cobertura	Coeficiente de escurrimiento (Ce)	Área en ha (A)	Ce x A	Cep
Zona de bosque	0,35	121,15	42,40	0,58
Zona urbanizada	0,60	1018,02	610,81	
Zona de suelo desnudo	0,70	149,83	104,88	
Total		1289	758,09	

### 5.3.3 Tiempos de concentración para cada superficie cuantificada

Empleando la Ecuación 4.1 aportada por la California Culvert Practice, se calcula y muestra la determinación de los tiempos de concentración para cada área delimitada dentro de la cuenca, en la Tabla 5.8:

Tabla 5.8 Tiempos de concentración para cada área (López y Pérez, 2019).

Tipo de superficie	L (m)	H (m)	Tc (min)
Zona de bosque	6025	78,22	78,20
Zona urbanizada	7131	53,53	118,82
Zona de suelo desnudo	5230	42,20	91,02

### 5.3.4 Intensidad de lluvia para cada área delimitada

Considerando las curvas de intensidad, duración y frecuencia de la Región II propuestas por Arocha (1983) las cuales pueden ser aplicadas para el área urbana de Ciudad Bolívar que se muestran a continuación en la Figura 5.5:

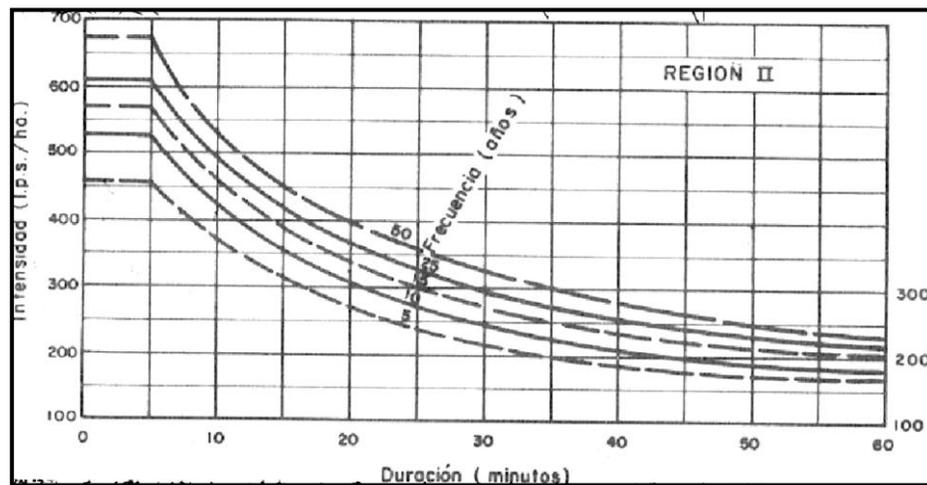


Figura 5.5 Curvas IDF para la región hidrológica II.(Arocha, 1983).

Considerando los periodos de retorno para 25 y 50 años respectivamente, se estima en la Tabla 5.9 las intensidades de lluvia para cada área delimitada dentro de la cuenca:

Tabla 5.9 Intensidades de lluvia para cada área delimitada dentro de la cuenca (López y Pérez, 2019).

Tipo de superficie	Tc (min)	Intensidad de la lluvia (l/s/ha)	
		Tr = 25 años	Tr = 50 años
Zona de bosque	78,20	225	240
Zona urbanizada	118,82	225	240
Zona de suelo desnudo	91,02	225	240

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

El área considerada de la cuenca es de 535.42 ha. la cual supera en 7% el máximo de 500 ha. establecido por el criterio de Bolinaga (1998) para calcular el caudal drenado por la cuenca mediante la aplicación del Método Racional. Sin embargo, dado que se trata de escasa diferencia, la estimación del caudal que aportará la cuenca de drenaje se realizará aplicando la Ecuación 3.8 y considerando los períodos de retorno de 25 y 50 años. Consiguiendo los resultados que se presentan en las Tablas 5.10 y 5.11.

Tabla 5.10 Estimación del caudal aportado por la cuenca de drenaje para un  $T_r= 25$  años (López y Pérez, 2019).

Tipo de superficie	Coef. de escurrimiento (C)	Intensidad de lluvia (i) (l/s/ha)	Área (A) (ha)	Caudal (Q) (l/s)	Caudal (Q) ( $m^3/s$ )
Zona de bosque	0,35	225	121,15	9540,56	9,54
Zona urbanizada	0,60	225	1018.02	137432.7	137.43
Zona de suelo desnudo	0,70	225	149,83	23598,22	23,59
Total			1289	170571.4	<b>170.57</b>

Tabla 5.11 Estimación del caudal aportado por la cuenca de drenaje para un  $T_r= 50$  años (López y Pérez, 2019).

Tipo de superficie	Coef. de escurrimiento (C)	Intensidad de lluvia (i) (l/s/ha)	Área (A) (ha)	Caudal (Q) (l/s)	Caudal (Q) ( $m^3/s$ )
Zokjnna de bosque	0,35	240	121,15	10176,6	10,17
Zona urbanizada	0,60	240	1018.02	146594.9	146.59
Zona de suelo desnudo	0,70	240	149,83	25171,44	25,17

Total			1289	181942.9 4	<b>181.94</b>
-------	--	--	------	---------------	---------------

### 5.3.6 Parámetros hidráulicos y elementos geométricos

Se efectuó un levantamiento topográfico con clinómetro, brújula, cinta métrica y GPS. Con esta información se construyeron las secciones topográficas que se presentan en el Apéndice A y que fueron generadas con el programa HEC-RAS.

Con la finalidad de determinar los elementos hidráulicos y geométricos de las secciones transversales que integran el tramo en estudio del río Buena Vista okwert4wt, se efectuará una simulación del flujo a través del tramo, utilizando el programa HEC-RAS, considerando los caudales para períodos de retorno de 25 y 50 años.

En la Tabla 5.12 se presentan los parámetros hidráulicos relevantes para efectos del estudio que aquí se desarrolla. Se pueden citar: Identificación del tramo (Reach), sección transversal (RiverSta), Perfil analizado (Profile), caudal (Q total), cota de la superficie del agua (W.S. Elev), Pendiente de la línea de energía (E.G. Slope), velocidad del flujo en el canal (VelChnl) y Número de Froude (Froude N Ch).

Tabla 5.12 Parámetros hidráulicos del flujo en las secciones transversales (López y Pérez, 2019).

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
CUENCA MEDIA	80.0	Tr=25 AÑOS	170.57	27.12	0.003821	3.35	1.00
CUENCA MEDIA	80.0	Tr=50 AÑOS	181.94	27.18	0.003786	3.39	1.00
CUENCA MEDIA	60.0	Tr=25 AÑOS	170.57	25.78	0.003679	3.51	1.00
CUENCA MEDIA	60.0	Tr=50 AÑOS	181.94	25.84	0.003648	3.56	1.00
CUENCA MEDIA	40.0	Tr=25 AÑOS	170.57	25.29	0.000620	1.96	0.44
CUENCA MEDIA	40.0	Tr=50 AÑOS	181.94	25.41	0.000599	1.98	0.44
CUENCA MEDIA	20.0	Tr=25 AÑOS	170.57	24.46	0.003489	4.26	1.00
CUENCA MEDIA	20.0	Tr=50 AÑOS	181.94	24.56	0.003447	4.31	1.00
CUENCA MEDIA	0.0	Tr=25 AÑOS	170.57	21.84	0.003462	4.06	1.00
CUENCA MEDIA	0.0	Tr=50 AÑOS	181.94	21.92	0.003447	4.14	1.00

Así mismo, en la Tabla 5.13 se presentan los elementos geométricos más importantes de las secciones transversales que integran el tramo en estudio. Se pueden citar: Área efectiva de la sección (Area), Área total (FlowArea), Radio hidráulico (HydrRadius), Profundidad hidráulica (HudrDepth), Ancho entre márgenes (Top Width) y Perímetro mojado (W.P. Total).

Tabla 5.13 Parámetros geométricos de las secciones transversales (López y Pérez, 2019).

Reach	River Sta	Profile	Area (m <sup>2</sup> )	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Hydr Radius (m)	Hydr Depth (m)	Top Width (m)	W.P. Total (m)
CUENCA MEDIA	80.0	Tr=25 AÑOS	50.95	50.95	1.13	1.13	44.98	45.19
CUENCA MEDIA	80.0	Tr=50 AÑOS	53.62	53.62	1.16	1.16	46.08	46.29
CUENCA MEDIA	60.0	Tr=25 AÑOS	48.59	48.59	1.25	1.25	38.74	39.02
CUENCA MEDIA	60.0	Tr=50 AÑOS	51.06	51.06	1.28	1.29	39.54	39.83
CUENCA MEDIA	40.0	Tr=25 AÑOS	86.83	86.83	1.98	2.01	43.21	43.81
CUENCA MEDIA	40.0	Tr=50 AÑOS	92.01	92.01	2.05	2.08	44.18	44.81
CUENCA MEDIA	20.0	Tr=25 AÑOS	40.06	40.06	1.73	1.83	21.87	23.14
CUENCA MEDIA	20.0	Tr=50 AÑOS	42.24	42.24	1.78	1.88	22.46	23.76
CUENCA MEDIA	0.0	Tr=25 AÑOS	41.98	41.98	1.62	1.68	25.01	25.87
CUENCA MEDIA	0.0	Tr=50 AÑOS	43.98	43.98	1.67	1.73	25.39	26.28

De la información generada por el programa HECRAS y presentada en la Tabla 5.12 se puede observar que la cota de la superficie del agua en la sección transversal

20.0 arroja valores de 24.46 m y 24.56 m para períodos de retorno de 25 y 50 años respectivamente. Tal circunstancia implica que la profundidad o tirante disponible aguas arriba de la ubicación de las pilas del puente, en su condición más crítica (Tr=50 años), será de 3.76 m (tirante que será considerado para la estimación de la socavación al pie de las pilas).

#### 5.4 Distribución granulométrica de los sedimentos del lecho y de las riberas

Para la descripción granulométrica del tramo estudiado del río Buena Vista, se tomaron cinco (5) muestras, en la cual dos de ellas son del lecho del río, todas tomada aguas arribas del puente de las avenida República respectivamente. Utilizando como guía las secciones transversales topográficas medidas.

En la Tabla 5.14 se muestra la ubicación de cada uno de los puntos de muestreo que se tomaron en el área de estudio para llevar a cabo su distribución granulométrica.

Tabla 5.14 Ubicación de los puntos de muestreo de suelos del cauce del río Buena Vista (López y Pérez, 2019).

UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO				
Muestra	Coordenadas UTM		Cotas (m)	Observación
	NORTE	OESTE		
<b>M1</b>	898814	437742	25.0	Cauce Aguas arriba del pte (S-20)
<b>M2</b>	898804	437756	25.0	Cauce Aguas arriba del pte (S-40)
<b>M3</b>	898800	437776	25.0	Ribera der. Aguas arriba del pte (S-60)
<b>M4</b>	898790	437763	25.0	Ribera Izq. Aguas arriba del pte (S-60)
<b>M5</b>	898788	437798	25.0	Cauce Aguas arriba del pte (S-80)

Las Figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10 se corresponden a las gráficas de los análisis granulométricos derivadas a partir de las tablas B1, B2, B3, B4 y B5

(Apéndice B) resultantes de los ensayos granulométricos de las muestras de suelos recolectadas. Cabe destacar que en todas las muestras, se observó un comportamiento similar, que los materiales predominantes del cauce son arenas (SP).

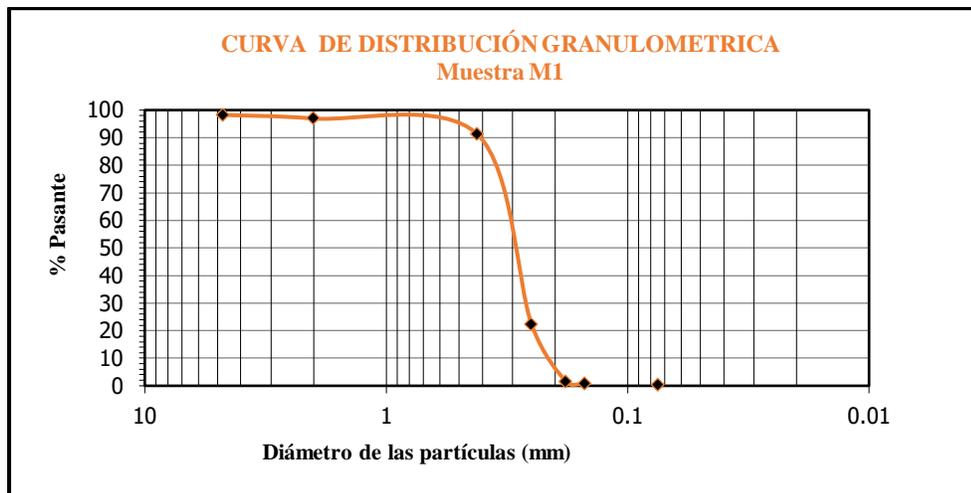


Figura 5.6 Curva granulométrica de la muestra M1 (López y Pérez, 2019).

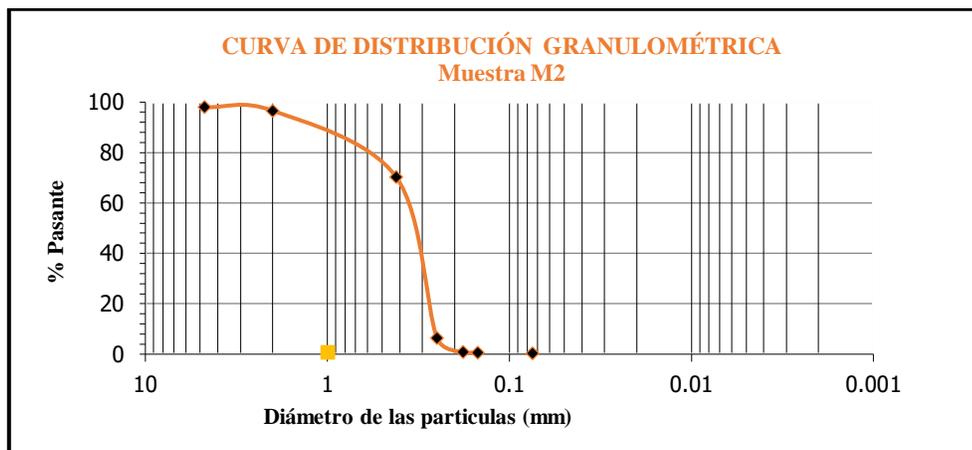


Figura 5.7 Curva granulométrica de la muestra M2 (López y Pérez, 2019).

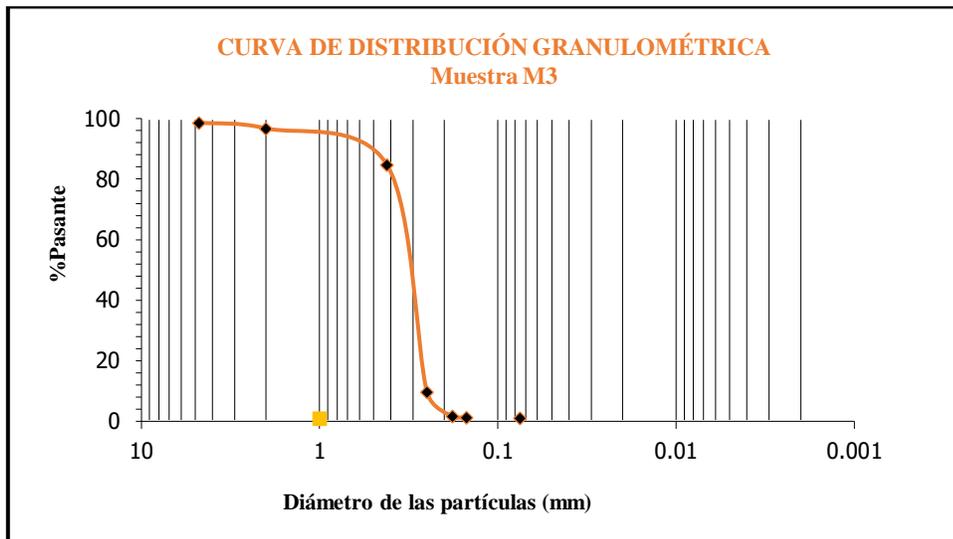


Figura 5.8 Curva granulométrica de la muestra M3 (López y Pérez, 2019).

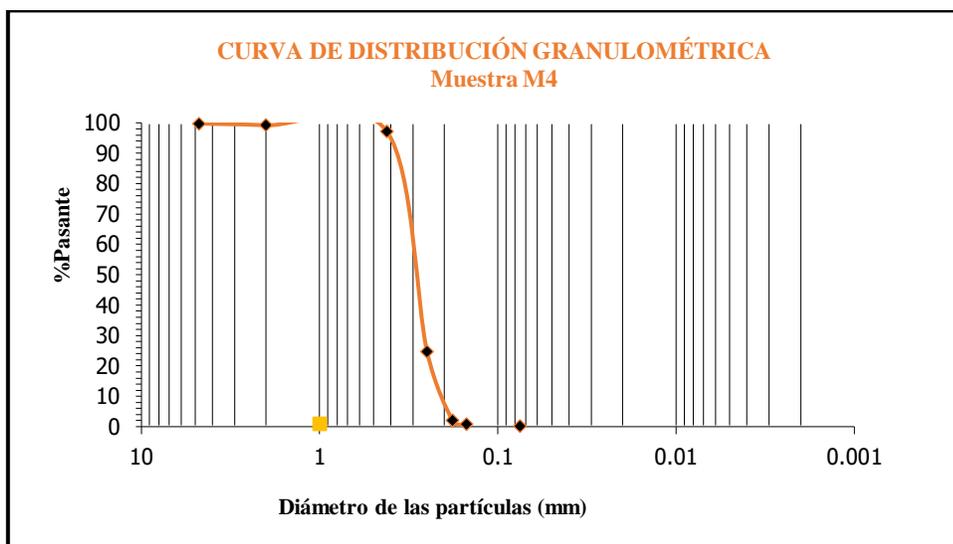


Figura 5.9 Curva granulométrica de la muestra M4. (López y Pérez, 2019).

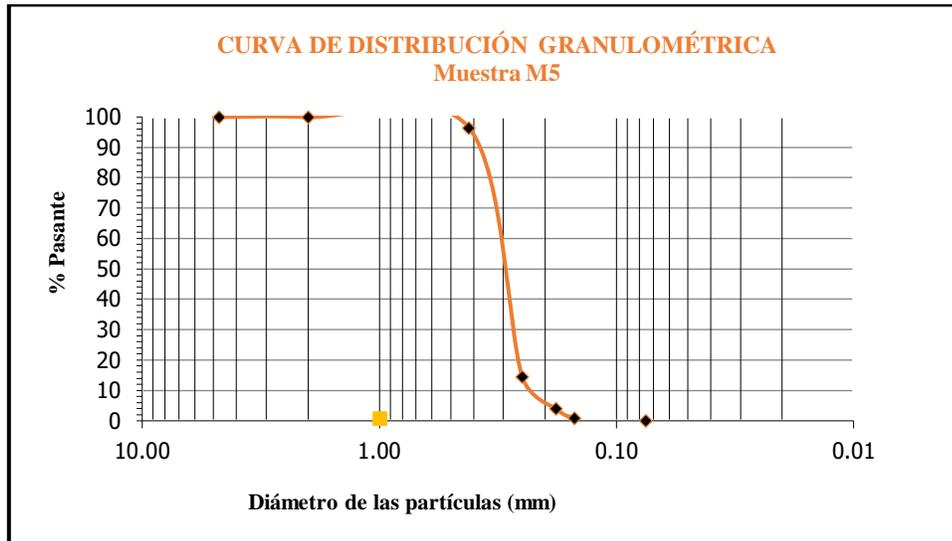


Figura 5.10 Curva granulométrica de la muestra M5 (López y Pérez, 2019).

En la siguiente Tabla 5.15 se muestra el coeficiente de curvatura y el coeficiente de uniformidad obtenidos para cada una de las gráficas de las curvas de distribución granulométrica, demostrando que el suelo es una arena mal gradada.

Tabla 5.15 Coeficiente de curvatura y uniformidad obtenidos de las curvas de distribución granulométrica para cada muestra (López y Pérez, 2019).

Muestras	D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>60</sub>	Cu	Cc
<b>M1</b>	0,20	0,27	0,30	1,5	1,2
<b>M2</b>	0,26	0,29	0,38	1,5	0,9
<b>M3</b>	0,25	0,28	0,32	1,3	1,0
<b>M4</b>	0,20	0,26	0,30	1,5	1,1
<b>M5</b>	0,23	0,28	0,30	1,3	1,1

## 5.5 Socavación local potencial al pie de las pilas del puente sobre el río Buena Vista

Para el análisis de la socavación que se presentará a continuación, proyectará exponer las estimaciones de la socavación local que se produciría en las pilas del puente avenida República, sobre el río Buena Vista. Estas pilas se constituyen como se indica a continuación:

- a. Diez (10) pilotes hincados con un diámetro de 0.5 m cada uno (no se sabe la profundidad hincada).
- b. Un cabezal superior de elemento paralelepípedo (3.5 m de ancho, 14 m de largo y 0.50 m de espesor) que une la parte superior de los diez (10) pilotes hincados.
- c. Sobre el cabezal, hay un pilar de sección rectangular con un ancho de 1.50 m de diámetro y 3.50 metros de altura que se extiende hacia arriba hasta la plataforma del puente.

### 5.5.1 Método de Maza Sánchez

En la aplicación de esta metodología de Maza Sánchez se tomaran en cuenta las dos situaciones anteriores aplicando la velocidad y profundidad existente en la sección transversal 4 que se encuentran aguas arriba de la pila empleando las siguientes variables:

$H_s$  para Tr 25 años = 3.66 m (sección transversal 20.0, según figura A4)

$H_s$  para Tr 50 años = 3.76 m (sección transversal 20.0, según figura A4)

$V$  para Tr 25 años = 4.26 m/s (de Sección transversal 20.0 en tabla 5.12).

$V$  para Tr 50 años = 4.31 m/s (de Sección transversal 20.0 en tabla 5.12).

$fc = 1$  (ángulo de esviaje =  $0^\circ$  en tabla 3.1)

$a = 0.5$  m cilíndrica

$a' = 0.5$  cilíndrica

$H_T =$  (Depende de  $Fr^2$ , de  $H_s/a'$  en la figura 3.9)

Empleando la ecuación 3.13, se procederá al cálculo del Número de Froude para el tiempo de retorno de 25 años y 50 años, para la pila cilíndrica. Así se obtendrá el valor respectivo de la profundidad en la sección socavada desde el nivel de la superficie del flujo ( $H_T$ ). Para finalmente de la ecuación 3.14 se tendrá el resultado de la profundidad de la socavación por dicho método que se observa en la tabla 5.16.

Tabla 5.16 Estimación de la socavación local en la pila cilíndrica según Maza – Sánchez. (López y Pérez, 2019).

Situación	$V$ (m/s)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	$H_s$ (m)	$fc$	$Fr^2$	$a$ (m)	$a'$ (m)	$H_s/a'$	$H_T/a'$	$H_T$ (m)	$ds$ (m)
<b>Tr = 25 años</b>	4.26	9.81	3.66	1.0	0.505	0.50	0.50	7.32	-----	---	---
<b>Tr = 50 años</b>	4.31	9.81	3.76	1.0	0.504	0.50	0.50	7.52	-----	---	---

Obsérvese que para la pila cilíndrica no puede ser aplicado el método de Maza-Sánchez para las situaciones de períodos de retorno de 25 y 50 años debido a que el modelo gráfico (figura 3.4) diseñado por los autores del método no tiene una escala lo suficientemente amplia que permita el ingreso de los valores de la relación  $H_s/a$ .

Cabe destacar que similar circunstancia ocurrió con el modelo planteado por los autores Laursen – Toch para la aplicación de su método de socavación en pilas.

### 5.5.2 Método de Froehlich (1991)

Para esta metodología se aplica la ecuación 3.15, considerando las mismas situaciones para tiempos de retornos de 25 y 50 años respectivamente. Donde se aplican las siguientes variables para la estimación de la socavación al pie de las pilas:

$K_f=1$  (pila punta circular en tabla 3.2)

$a= 0.5$  m diámetro cilíndrico

$a' = 0.5$  diámetro cilíndrico

$h$  para Tr 25 años =3.66 m (sección transversal 20.0, según figura A4)

$h$  para Tr 50 años =3.76 m (sección transversal 20.0, según figura A4)

$V$  para Tr 25 años = 4.26 m/s (de Sección transversal 20.0 en tabla 5.12).

$V$  para Tr50 anos = 4.31 m/s (de Sección transversal 20.0 en tabla 5.12).

$D_{50} = 0.00029$  m (aproximadamente de las Figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10).

De la ecuación 3.15 y considerando las mismas condiciones se efectuará la estimación de la profundidad de la socavación para la pila cilíndrica y se presentan los resultados en la tabla 5.17.

Tabla 5.17 Estimación de la socavación local en la pila cilíndrica según Froehlich.(López y Pérez, 2019).

Situación	$K_f$	$a'$ (m)	$h$ (m)	$V$ (m/s)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	$Fr$	$D_{50}$ (m)	$d_s$ (m)
Tr= 25 años	1.0	0.5	3.66	4.26	9.8	0.71	0.00029	0.73
Tr= 50 años	1.0	0.5	3.76	4.31	9.8	0.71	0.00029	0.75

### 5.5.3 Método de Yaroslaziev

Para esta metodología se aplica la ecuación 3.16, considerando las mismas situaciones para tiempos de retornos de 25 y 50 años respectivamente. Donde se aplican las siguientes variables para la estimación de la socavación al pie de las pilas:

$S$ : 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 = 0.6 para pilas colocadas en el cauce principal

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

$V$  para Tr 25 años = 4.26 m/s (de Sección transversal 20.0 en tabla 5.12).

$V$  para Tr 50 años = 4.31 m/s (de Sección transversal 20.0 en tabla 5.12).

$g$ : aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ) = 9.8  $m/s^2$

$d$ : diámetro medio del material de fondo (cm)= 0.00029 m

$b_l$ : longitud de la proyección de la pila sobre un plano normal a las líneas de corriente (figura 3.7) =0.5

$h$  para Tr 25 años =3.66 m (sección transversal 20.0, según figura A4)

$h$  para Tr 50 años =3.76 m (sección transversal 20.0, según figura A4)

Tabla 5.18 Estimación de la socavación local en la pila cilíndrica según Yaroslaziev. (López y Pérez, 2019).

Situación	$K_f$	$k_v$	$\alpha$	$K_h$	$V$ (m/s)	$g$ /m/s <sup>2</sup>	$D_{50}$ (m)	$d_s$ (m)
Tr= 25 años	10	0.38	0.6	0.05	4.26	9.8	0.00029	2.2
Tr= 50 años	10	0.37	0.6	0.05	4.31	9.8	0.00029	2.2

En resumen se presenta en la tabla 5.19 los resultados de los métodos aplicados para la estimación de la socavación en las pilas de sección circular presentes en el puente, considerando las condiciones de Tiempo de retorno de 25 y 50 años respectivamente.

Tabla 5.19 Resumen de profundidades de socavación estimadas en las pilas (López y Pérez, 2019).

<b>Modelos</b>	<b>Socavación (m)</b>	
	<b>Tr = 25 años</b>	<b>Tr = 50 años</b>
Laursen - Toch	Sin resultados	Sin resultados
Maza - Sánchez	Sin resultados	Sin resultados
Froehlich	0.73	0.75
Yaroslatziev	2.2	2.2

## **CAPÍTULO VI**

### **LA PROPUESTA**

#### **6.1 Objetivo de la propuesta**

Presentar las características dimensionales y de ubicación de la medida de mitigación recomendada para control de la socavación que podría producirse en las pilas del puente en la avenida República, sobre el río Buena Vista.

#### **6.2 Justificación**

En vista de los resultados de la estimación de la socavación, y con el propósito de evitar que se incremente la magnitud de la misma, se justifica la implementación de un muro de gaviones, en torno al sistema de pilas del puente.

#### **6.3 Desarrollo de la propuesta**

##### **6.3.1 Ubicación**

El muro de gaviones, estará ubicado en torno a cada sistema de pilas, aguas abajo del puente de la avenida República sobre el río Buena Vista. Se debe hacer una excavación alrededor de cada pila, para establecer el muro de gaviones, colocando un cajón sobre otro, en forma de bloques.

### 6.3.2 Elementos dimensionales

El muro se implementará alrededor del sistema de pilas, en torno a dichas estructuras de cimentación, sin espacio entre ellos, como una pared, y de forma rectangular, colocando un cajón, sobre otro.

La propuesta consiste en levantar un muro de gaviones (contenedores de piedras retenedoras con malla de alambre), el cual se anclará al río, alrededor de las pilas que pudiesen afectarse por socavación en el río Buena Vista, aguas abajo, permitiendo que todo el material sólido que fluye en el agua, se acumule alrededor de los pilares del puente, y de éste modo, se puedan rellenar los eventuales espacios vacíos.

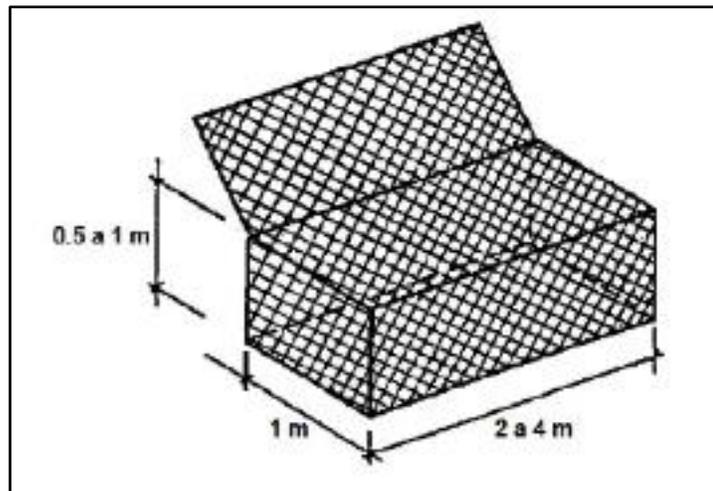


Figura 6.1 Cesta típica de gavión (Fratelli, 2000).

Debido a que las rocas son un material muy fácil de conseguir dentro del estado Bolívar, y las medidas más utilizadas, y más económicas dentro del mismo, es la construcción de muros de gaviones, se presenta, como la medida más beneficiosa (en cuanto a factibilidad y economía) a aplicar, para solucionar una potencial problemática que pudiese presentarse en el puente en estudio (figuras 6.2 a 6.6).



Figura 6.2 Armado de malla de gaviones (LEMAC, 2019).



Figura 6.3 Colocación de cimbras para dar rigidez a la malla del gavión durante su llenado (LEMAC, 2019).



Figura 6.4 Llenado manual del gavión con rocas de 4 a 6 pulgadas de diámetro y peso específico de  $2.0 \text{ Tm/m}^3$  (LEMAC, 2019).

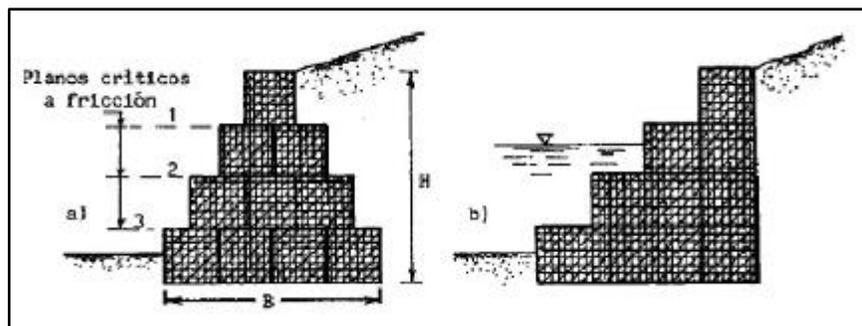


Figura 6.5 Muros de gavión (Fratelli (2000)).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Las variables climáticas que incurren significativamente en las diferencias de los caudales del río Buena Vista, 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 bisectada por el río Buena Vista el cual tiene en el tramo de estudio una pendiente del lecho aproximada de 0.07, mientras que sus riberas presentan rasgos de formación de terrazas aluviales que han sido modificadas o destruidas por los habituales procesos de dragado del cauce y la formación de barreras de inundación artificiales creadas por el mismo proceso en ambas riberas aguas abajo del puente de la avenida República sobre el mencionado río.

3. Hidráulicamente el río Buena Vista presenta características de un flujo de poca profundidad. Sin embargo, estas profundidades se verían drásticamente incrementadas a más de 3 m ante la ocurrencia de precipitaciones con períodos de retorno superiores a los 25 años. Igualmente, las condiciones del flujo se verían afectadas principalmente en el sitio de ubicación del puente debido al estrechamiento que este ha provocado en el cauce lo cual se ha visto incrementado por taludes artificiales creados por desechos sólidos dispuestos inapropiadamente en la riberas descendentes.

4. La velocidad del flujo varía entre 3,49 m/s y 4,06 m/s para las condiciones períodos de retorno de 25 años y de 50 años respectivamente. Cabe destacar que no son significativamente diferentes las condiciones del flujo para los períodos de retorno considerados (de 25 años y de 50 años). Sin embargo, en este último caso existe la presencia de inversión de pendiente hidráulica generada por la contracción que presenta la sección transversal del cauce en la ubicación del puente.

5. Con respecto a los resultados arrojados por los ensayos granulométricos se puede concluir que, de acuerdo a la Clasificación Unificada de Suelos, en los materiales presentes en la zona de estudio correspondiente a la cuenca media del río Buena Vista (adyacentes al puente de la avenida República) predominan las arenas medias a finas pobremente gradadas (SP).

6. La notable diferencia entre los resultados de la magnitud de la socavación local en pilas cilíndricas para los distintos métodos evaluados, dificulta la escogencia de metodologías adecuadas para el caso específico de las cimentaciones del puente de la avenida República para condiciones de períodos de retorno de 25 años y 50 años por cuanto no existen parámetros comparativos con la realidad en dichas condiciones.

7. La metodología propuesta por Yaroslaziev presenta las predicciones de socavación más conservadoras, una desviación típica significativa con relación a los otros métodos. Igualmente, los métodos de Maza-Sánchez y de Laursen-Tochno pudieron ser aplicados para condiciones de períodos de retorno de 25 y 50 años por cuanto los instrumentos de estimación (gráficos) no permiten su uso para las condiciones pautadas en este estudio. En vista de ello se sugiere aplicar criterios de diseño basados en la media aritmética de los resultados numéricos obtenidos.

8. Se propone la aplicación de un muro de gaviones perimetral entorno al conjunto de pilas de cimentación del puente de la avenida República sobre el río

Buena Vista por ser una técnica constructivamente sencilla y cuyos elementos constructivos se encuentran disponibles en el mercado de la región Guayana.

### **Recomendaciones**

1. Se sugiere el monitoreo sistemático de la socavación que se produzca en las cimentación del puente de la avenida República con la finalidad de evaluar la mejor metodología que se adapte a las condiciones específicas de esa estructura civil y de su entorno.

2. Se recomienda la aplicación de otros métodos para la estimación de la socavación local en las pilas del puente de la avenida República con la finalidad de ampliar el espectro de escogencia de la metodología que presente las mejores características para su aplicación en este caso específico.

3. Incluir la variable del tiempo de ocurrencia de los fenómenos climáticos que inciden en la permanencia de condiciones de flujo que accionan los procesos de socavación y su variación temporal.

## REFERENCIAS

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.

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.

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

Bolinaga, Juan. (1979). **DRENAJE URBANO**. Instituto nacional de obras. Caracas, Venezuela. pp. 399.

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

Camacho, Francisco. (1996). **DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE**. Universidad de Carabobo. Valencia. pp. 300.

Chereque, W. (2003). **HIDROLOGÍA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL**. Segunda edición. Editorial Concytec. Lima, Perú. pp. 223.

Chow, V. (1994) **MANUAL DE HIDROLOGÍA APLICADA**. Editorial Nomos S.A., Colombia. pp. 538.

Chow, Ven Te. (2004). **HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS**. Quinta Edición. Editorial Nomos S.A. Colombia. pp. 655.

Chow, Ven Te. (2008). **HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS**. Editorial Nomos S.A. Colombia. pp. 650.

Finol M, Camacho H, (2006). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Universidad del Zulia. Zulia, Venezuela. pp. 77.

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.

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.

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

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.

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

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>].

Garreaud, R. (2005). **ATMÓSFERA, TIEMPO Y CLIMA**. 12 de Agosto de 2016. [[http://mct.dgf.uchile.cl/CURSOS/Clases\\_Atmosfera/clase1\\_intro.pdf](http://mct.dgf.uchile.cl/CURSOS/Clases_Atmosfera/clase1_intro.pdf)]. pp. 12.

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

Jiménez Escobar, Henry (1986). **HIDROLOGÍA BÁSICA**. 28 de Noviembre de 2017 [<http://www.univalle.edu.com>]. pp. 248.

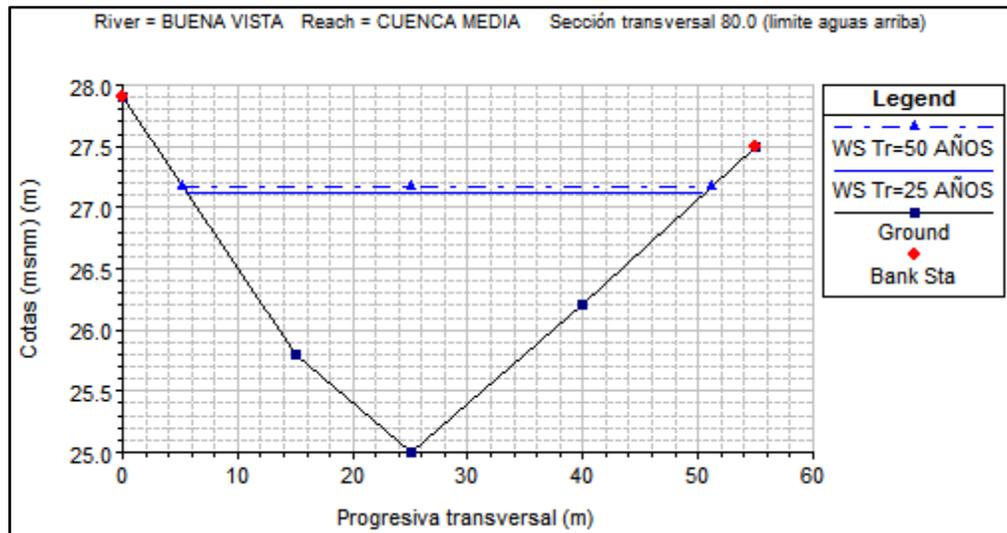
Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú (2011). **MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRAULICA Y DRENAJE**. 5 de Diciembre de 2016 [[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)]. pp. 222.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). (2007). **MEDICIÓN SOBRE EL TERRENO DE LA EROSIÓN DEL SUELO Y DE LA ESCORRENTÍA.** 20 de Diciembre de 2017. Venezuela [http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s07.htm].

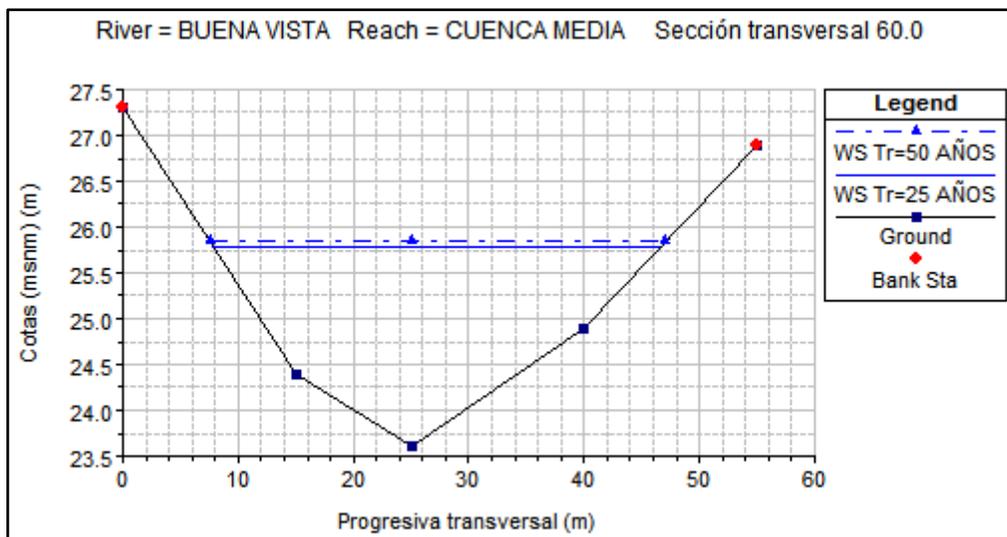
Schosinsky, G. y Losilla, M.[Revista Geológica de América Central] (2000). **MODELO ANALÍTICO PARA DETERMINAR LA INFILTRACIÓN CON BASE EN LA LLUVIA MENSUAL.** 30 de Noviembre de 2017. [http://www.latindex.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/viewFile/8579/8102]. pp. 43.

## **APÉNDICES**

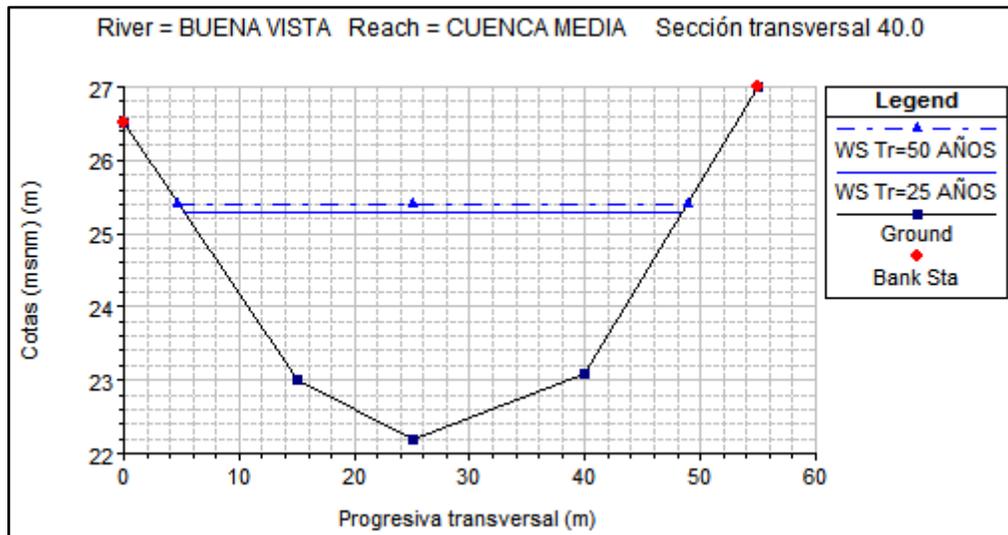
**APÉNDICE A**  
**SECCIONES TRANSVERSALES TOPOGRÁFICAS Y MODELO**  
**3D**



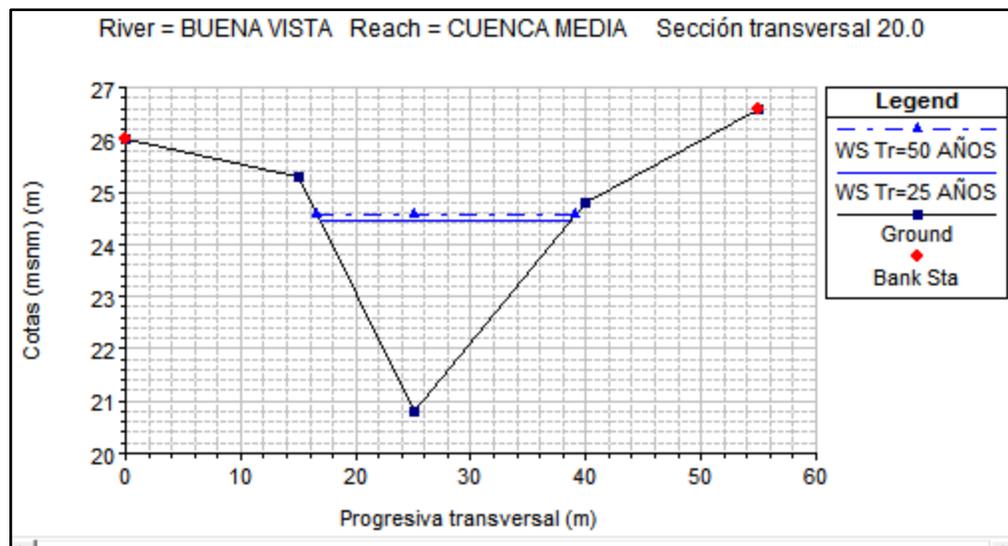
A1 Sección transversal 80.0 (López y Pérez, 2019).



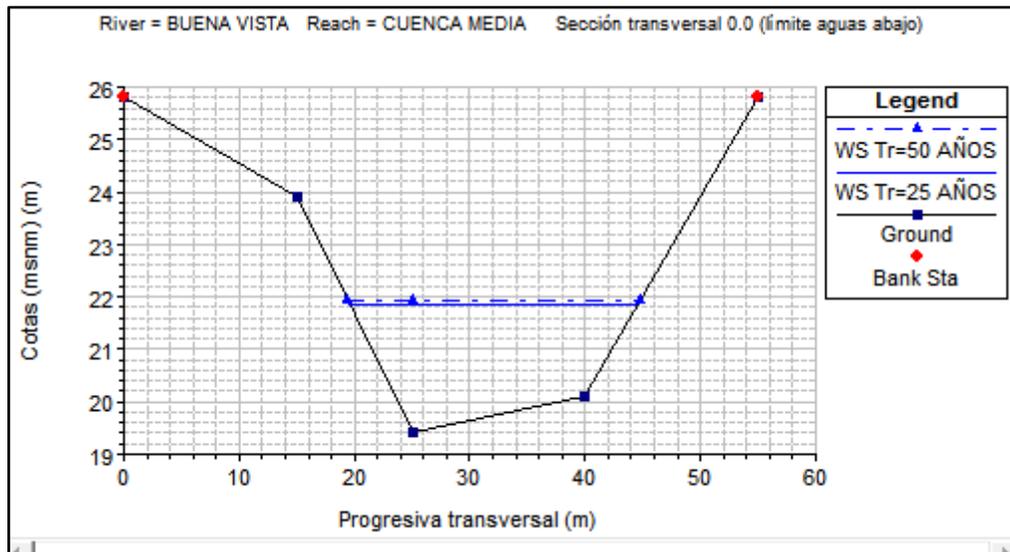
A2 Sección transversal 60.0 (López y Pérez, 2019).



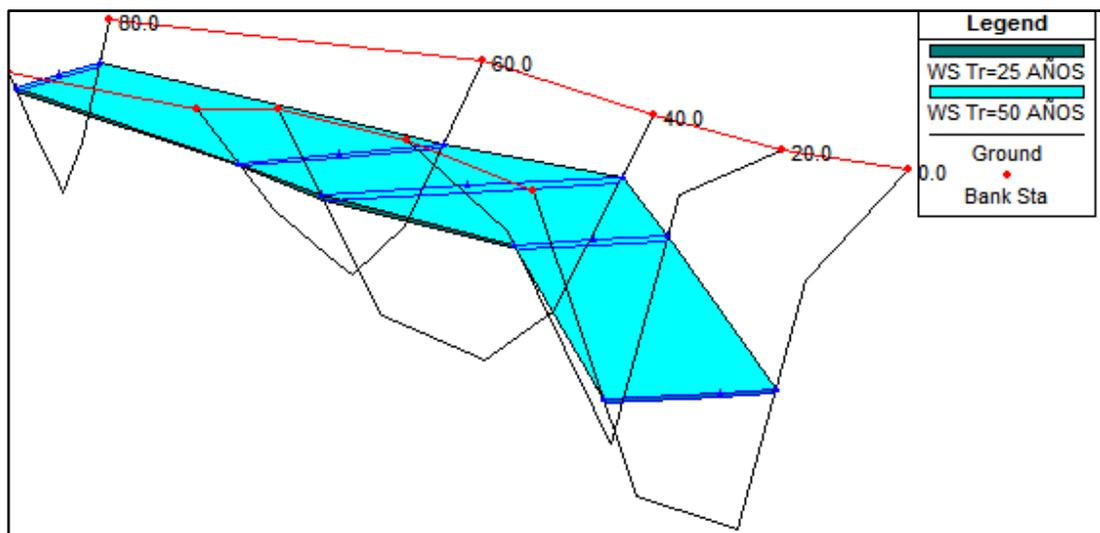
A3 Sección transversal 40.0 (López y Pérez, 2019).



A4 Sección transversal 20.0 (López y Pérez, 2019).



A5 Sección transversal 0.0 (López y Pérez, 2019).



A6 Modelo 3D del tramo en estudio (López y Pérez, 2019).

**APÉNDICE B**  
**TABLAS DE DATOS PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS**

B1 Datos del análisis granulométrico de la muestra M1(López y Pérez, 2019).

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4,75	747,2	755,9	8,7	1,74	1,74	98,26
10	2	643,2	649,8	6,6	1,32	3,06	96,94
40	0,41931	566,2	594,7	28,5	5,70	8,76	91,24
60	0,25	512	856,7	344,7	68,94	77,70	22,30
<b>80</b>	<b>0,18</b>	515	618,7	103,7	20,74	98,44	1,56
<b>100</b>	<b>0,15</b>	395,6	399,9	4,3	0,86	99,30	0,70
200	0,075	482,3	484,7	2,4	0,48	99,78	0,22
PAN	0	483,6	484	0,4	0,08	99,86	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	499,30	<b>99,86</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500,00			
			<b>%ERROR</b>	<b>0,14</b>			

B2 Datos del análisis granulométrico de la muestra M2(López y Pérez, 2019).

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4,75	747,2	757,1	9,9	1,98	1,98	98,02
10	2	643,2	650,2	7	1,40	3,38	96,62
40	0,41931	566,2	697,6	131,4	26,28	29,66	70,34
60	0,25	512	831,5	319,5	63,90	93,56	6,44
<b>80</b>	<b>0,18</b>	515	543,1	28,1	5,62	99,18	0,82
<b>100</b>	<b>0,15</b>	395,6	396,4	0,8	0,16	99,34	0,66
200	0,075	482,3	483,2	0,9	0,18	99,52	0,48
PAN	0	483,6	483,8	0,2	0,04	99,56	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	497,80	<b>99,56</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500,00			
			<b>%ERROR</b>	<b>0,44</b>			

B3 Datos del análisis granulométrico de la muestra M3(López y Pérez, 2019).

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4,75	747,2	753,4	6,2	1,32	1,32	98,68
10	2	643,2	652,2	9	1,91	3,23	96,77
40	0,41931	566,2	622,7	56,5	12,02	15,26	84,74
60	0,25	512	865,2	353,2	75,15	90,40	9,60
<b>80</b>	<b>0,18</b>	515	552,2	37,2	7,91	98,32	1,68
<b>100</b>	<b>0,15</b>	395,6	397,4	1,8	0,38	98,70	1,30
200	0,075	482,3	483,3	1	0,21	98,91	1,09
PAN	0	483,6	483,8	0,2	0,04	98,96	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	465,10	<b>98,96</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	470,00			
			<b>%ERROR</b>	<b>1,04</b>			

B4 Datos del análisis granulométrico de la muestra M4(López y Pérez, 2019).

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4,75	747,2	748,4	1,2	0,24	0,24	99,76
10	2	643,2	646,1	2,9	0,58	0,82	99,18
40	0,41931	566,2	576,6	10,4	2,08	2,90	97,10
60	0,25	512	873,7	361,7	72,34	75,24	24,76
<b>80</b>	<b>0,18</b>	515	628,1	113,1	22,62	97,86	2,14
<b>100</b>	<b>0,15</b>	395,6	402,7	7,1	1,42	99,28	0,72
200	0,075	482,3	485,2	2,9	0,58	99,86	0,14
PAN	0	483,6	483,8	0,2	0,04	99,90	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	499,50	<b>99,90</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500,00			
			<b>%ERROR</b>	<b>0,10</b>			

B5 Datos del análisis granulométrico de la muestra M5(López y Pérez, 2019).

Tamiz	Tamiz	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
(nº)	(mm)						
4	4,7500	747,20	747,30	0,10	0,02	0,02	99,98
10	2,0000	643,20	643,50	0,30	0,06	0,08	99,92
40	0,4193	566,20	583,40	17,20	3,44	3,52	96,48
60	0,2500	512,00	921,40	409,40	81,88	85,40	14,60
<b>80</b>	<b>0,1800</b>	515,00	568,10	53,10	10,62	96,02	3,98
<b>100</b>	<b>0,1500</b>	395,60	410,40	14,80	2,96	98,98	1,02
200	0,0750	482,30	487,20	4,90	0,98	99,96	0,04
PAN	0,0000	483,60	483,90	0,30	0,06	100,02	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	500,10	<b>100,02</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500,00			
			<b>%ERROR</b>	<b>-0,02</b>			



**Líneas y sublíneas de investigación:**

<b>Área</b>	<b>Subárea</b>
Obras Hidráulicas	Puentes fluviales
Socavación y erosión	Socavación de pilas

**Resumen (abstract):**

---

El presente trabajo de grado se basa en propuesta para la mitigación de la socavación que se produciría al pie de las pilas del puente de la avenida República sobre el río Buena Vista de Ciudad Bolívar, estado Bolívar, siendo este el objetivo principal. La investigación es de nivel proyecto factible, 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 del plano topográfico y 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: Laursen – Toch, Maza – Sanchez, Froehlich y Yaroslaziev. Entre los resultados más relevantes obtenidos tenemos 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 puede 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). Hidráulicamente, se determinaron las variables correspondientes considerando dos escenarios de caudales del río: a) Para un  $Tr = 25$  años y b) Para un  $Tr = 50$  años. Obteniéndose que los caudales de drenaje son de  $170.57 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $181.94 \text{ m}^3/\text{s}$ , y velocidades de flujo aguas arriba de las pilas son de  $4.26 \text{ m/s}$  y  $4.31 \text{ m/s}$  respectivamente. La predicción de socavación local en las pilas cilíndricas varió entre  $0.73 \text{ m}$  y  $2.2 \text{ m}$  para un período de retorno de 25 años y finalmente, la estimación de socavación local osciló entre  $0.75 \text{ m}$  y  $2.2 \text{ m}$  para un periodo de retorno de 50 años. De acuerdo a estos resultados se considera que la medida idónea de mitigación de la socavación es el muro de gaviones perimetral en torno a las cimentaciones del puente.

---



Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

**Contribuidores:**

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>ROL / Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>Echeverría Díaz, Dafnis José</b>	<b>ROL</b>	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLA</b>	<b>4.506.408</b>
	<b>e-</b>	<b>dafnisecheverriaudo@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
<b>Monteverde, Francisco Raúl</b>	<b>ROL</b>	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLA</b>	<b>12.192.676</b>
	<b>e-</b>	<b><u>monteverdefr@gmail.com</u></b>
	<b>e-mail</b>	
<b>Echeverría Coa, Beatriz Carolina</b>	<b>ROL</b>	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLA</b>	<b>21.013.748</b>
	<b>e-</b>	<b>9beitacaro92@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>ROL</b>	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLA</b>	
	<b>e-</b>	
	<b>e-mail</b>	

**Fecha de discusión y aprobación:**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Día</b>
<b>2019</b>	<b>12</b>	<b>08</b>

**Lenguaje** Spa

**Archivo(s):**

<b>Nombre de archivo</b>
MITIGACIÓN DE SOCAVACIÓN PILAS DE PUENTE AV REPÚBLICA SOBRE RIO BUENA VISTA, CIUDAD BOLIVAR, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.

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 Buena Vista, Ciudad Bolívar, estado Bolívar, Venezuela. \_\_\_\_\_

**Temporal:** 2019 \_\_\_\_\_

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

Ingeniero Civil

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

Pregrado

**Área de Estudio:**

Ingeniería Civil

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

Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU N° 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 N° 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

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

*Juan A. Bolanos Curvelo*  
JUAN A. BOLANOS CURVELO  
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/maruja

**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**  
**Antonio José López Pereira**  
**C.I.: V-19.656.059**

---

**AUTOR**  
**Leonel Antonio Pérez Pereira**  
**C.I.: V-21.507.358**

---

**TUTOR**  
**Dafnis José Echeverría Díaz**



**ACTA BORRADOR PRESENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO**

Título del Trabajo de grado Propuesta de Obras civiles para la mitigación de la socavación local que se produciría en las fundaciones de las pilas del Puente avenida Republica sobre el RPO Buena Vista, Ciudad Bolívar, municipio Heres, Estado Bolívar, Venezuela.

Nombre del Estudiante Antonio Jose Lopez Peña C.I. N° 19.656.059  
Tlf. \_\_\_\_\_

HORA: 11:00 am DIA: Lunes 20/01/2020 LUGAR: Sala Tesis

PARA OPTAR AL TITULO DE: Ingeniero Civil

CALIFICACION DEFINITIVA: APROBADO

NOTA: APROBADO O REPROBADO

LOS TRES ORIGINALES DEL ACTA FINAL DE TRABAJO DE GRADO DEBERAN SER FIRMADAS UNA VEZ QUE EL BACHILLER REALICE LAS CORRECCIONES NECESARIAS EXIGIDAS POR EL JURADO EXAMINADOR.

**JURADO CALIFICADOR**

PROF. Dafnis Echeverría

PROF. Beatriz Echeverría

PROF. Francisco Monteverde

FIRMA  
[Signature]  
[Signature]  
[Signature]

En Ciudad Bolívar, a los 20 días del mes de Enero de 2020

Nota: LLENAR LOS DATOS CON LETRA DE IMPRENTA; SIN ABREVIATURAS.  
ANEXAR UNA COPIA DE LA CEDULA DE IDENTIDAD DEL BACHILLER O LOS BACHILLERES.

**DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS**

Calle San Simón, Campo Universitario J.N. Perfetti – La Sabanita, Ciudad Bolívar- 8001  
Telfs: (0285) 651.55.94 – www.bolivar.udo.edu.ve

Trátese sólo un asunto en cada Oficio



**ACTA EXAMEN FINAL TRABAJO DE GRADO**

Reunidos los abajo firmantes, miembros del jurado, Profesores **DAFNIS ECHEVERRÍA (asesor)**, **FRANCISCO MONTEVERDE** y **BEATRIZ ECHEVERRÍA**, el día 20 de enero de 2020 a las 11:00 am, en la sala de tesis, escuela ciencias de la tierra de la Universidad de Oriente núcleo Bolívar, para calificar el trabajo de grado presentado por el (la) Br. **ANTONIO JOSÉ LÓPEZ PEREIRA** titular de la C.I N° V 19.656.059, titulado **“PROPUESTA DE OBRAS CIVILES PARA LA MITIGACIÓN DE LA SOCAVACIÓN LOCAL QUE SE PRODUCIRÍA EN LAS FUNDACIONES DE LAS PILAS DEL PUENTE AVENIDA REPUBLICA SOBRE EL RIO BUENA VISTA, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA”**. Para optar al título de **INGENIERO CIVIL**, después de revisar el trabajo antes mencionado, escuchada la exposición del candidato y de las preguntas que le fueron realizadas opinamos que el mismo reúne las condiciones para su aprobación y la nota que le corresponde es de **APROBADO**.

Y para que así conste la firmamos en ciudad Bolívar a los 20 días del mes de enero de dos mil veinte.

Trátese sólo un asunto en cada Oficio

**JURADO:**

  
 =====  
**PROF. DAFNIS ECHEVERRÍA**

  
 =====  
**PROF. FRANCISCO MONTEVERDE**

  
 =====  
**PROF. BEATRIZ ECHEVERRÍA**

  
**PROF. FRANCISCO MONTEVERDE**  
**DIRECTOR DE ESCUELA**

**DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS**



ACTA BORRADOR PRESENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

Título del Trabajo de Grado Propuesta de obras civiles para la mitigación de la socavación local que se produciría en las fundaciones de las Pilas del Puente Avenida Republica sobre el Río Buena Vista, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar, Venezuela.

Nombre del Estudiante Leonel Antonio Perez Peña C.I. N° 21.507.358  
Tif. \_\_\_\_\_

HORA: 11:00 am DIA: Lunes 20/01/2020 LUGAR: Sala de Tesis

PARA OPTAR AL TITULO DE: Ing CIVIL

CALIFICACION DEFINITIVA: APROBADO

NOTA: APROBADO O REPROBADO

LOS TRES ORIGINALES DEL ACTA FINAL DE TRABAJO DE GRADO DEBERAN SER FIRMADAS UNA VEZ QUE EL BACHILLER REALICE LAS CORRECCIONES NECESARIAS EXIGIDAS POR EL JURADO EXAMINADOR.

JURADO CALIFICADOR

PROF. Dafnis Echeverría

PROF. Beatriz Echeverría

PROF. Franasco Monteverde

FIRMA

[Handwritten signatures]

En Ciudad Bolívar, a los 20 días del mes de Enero de 2020

Trátase sólo un asunto en cada Oficio

Nota: LLENAR LOS DATOS CON LETRA DE IMPRENTA, SIN ABREVIATURAS. ANEXAR UNA COPIA DE LA CEDULA DE IDENTIDAD DEL BACHILLER O LOS BACHILLERES.

DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS

Calle San Simón, Campo Universitario J.N. Perfetti - La Sabanita, Ciudad Bolívar- 8001  
Telfs: (0285) 651.55.94 - www.bolivar.udo.edu.ve



**ACTA EXAMEN FINAL TRABAJO DE GRADO**

Reunidos los abajo firmantes, miembros del jurado, Profesores **DAFNIS ECHEVERRÍA (asesor)**, **FRANCISCO MONTEVERDE** y **BEATRIZ ECHEVERRÍA**, el día 20 de enero de 2020 a las 11:00 am, en la sala de tesis, escuela ciencias de la tierra de la Universidad de Oriente núcleo Bolívar, para calificar el trabajo de grado presentado por el (la) Br. **LEONEL ANTONIO PÉREZ PEREIRA** titular de la C.I N° V 21.507.358, titulado “PROPUESTA DE OBRAS CIVILES PARA LA MITIGACIÓN DE LA SOCAVACIÓN LOCAL QUE SE PRODUCIRÍA EN LAS FUNDACIONES DE LAS PILAS DEL PUENTE AVENIDA REPUBLICA SOBRE EL RIO BUENA VISTA, CIUDAD BOLÍVAR, MUNICIPIO HERES, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA”. Para optar al título de **INGENIERO CIVIL**, después de revisar el trabajo antes mencionado, escuchada la exposición del candidato y de las preguntas que le fueron realizadas opinamos que el mismo reúne las condiciones para su aprobación y la nota que le corresponde es de **APROBADO**.

Y para que así conste la firmamos en ciudad Bolívar a los 20 días del mes de enero de dos mil veinte.

Trátese sólo un asunto en cada Oficio

**JURADO:**

  
 =====  
**PROF. DAFNIS ECHEVERRIA**

  
 =====  
**PROF. FRANCISCO MONTEVERDE**

  
 =====  
**PROF. BEATRIZ ECHEVERRIA**

  
**PROF. FRANCISCO MONTEVERDE**  
**DIRECTOR DE ESCUELA**

**DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS**