

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



**EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN UN TRAMO DE UN CAUCE FLUVIAL DE FLUJO CONTROLADO EN EL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.**

**1**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LOS  
BACHILLERES DE CHACARE  
F., ARIANNYS N. Y LEÓN G.,  
JOSÉ V. J. PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO  
GEÓLOGO Y GEÓLOGO  
RESPECTIVAMENTE**

**CIUDAD BOLÍVAR, OCTUBRE DE 2024**



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

**ACTA DE APROBACIÓN**

Este Trabajo de Grado, titulado: **“EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN UN TRAMO DE UN CAUCE FLUVIAL DE FLUJO CONTROLADO EN EL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA”** presentado por los bachilleres **ARIANNYS NAHOMYS CHACARE FAYOLA** de cédula de identidad No **26.355.377** y **JOSÉ VIRGILIO JUNIOR LEÓN GONZÁLEZ** de cédula de identidad No **23.551.259** como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO GEÓLOGO** y **GEÓLOGO** respectivamente, ha sido **APROBADO** por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

Nombre:

Profesor. Dafnis Echeverría

(Asesor)

Profesora Beatriz Echeverría

(Jurado)

Profesor Juan Carlos España

(Jurado)

Prof. Francisco R. Monteverde S.  
Jefe de Dpto. de Ingeniería Geológica

Profa. Rosario Rivadulla  
Jefe de Dpto. de Geología

Prof. Francisco R. Monteverde S.  
Director de Esc. De Ciencias de la Tierra

En Ciudad Bolívar a los \_\_\_\_\_ días del mes de Febrero de 2025

Firma:



## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios Todopoderoso, por permitirme llegar con salud hasta este momento tan importante en mi vida, por ser fiel en todo momento e iluminar mis pasos en cada camino, por ser mi guía para alcanzar con perseverancia y compromiso esta meta.

A mi madre Rita Fayola, por estar ahí en los momentos en las que me he sentido vulnerable ante alguna situación, con sus palabras y apoyo incondicional he podido culminar distintas metas trazadas en mi vida sin ella esta meta no hubiese sido posible. De igual forma le dedico esta meta a mi hermano Junior Chacare que con sus ocurrencias siempre está dispuesto para mí cuando lo necesito

A toda mi familia, por contribuir de distintas maneras en esta trayectoria académica, a mis compañeros de clases, cada momento compartido está guardado en mi mente, a mis amigos en general por su apoyo.

A esas personas cercanas a mí que ya no se encuentran en este plano terrenal, formaron parte de mi trayectoria de vida y sé que hoy en día estarían orgullosos de mí.

Ariannys Nahomys Chacare Fayola

## **DEDICATORIA**

Primeramente dedico esta meta a Dios, quien fue mi guía en este camino y me llevo con salud al a culminación del mismo, con altas y bajas sin la voluntad de él no hubiese estado hoy aquí, es por ello que agradezco todo lo que he logrado bajo su bendición.

A mi madre Vilma Gonzales de León y mi padre José León, quienes son pilares en mi vida, responsables en gran parte de la persona que hoy en día soy, así que les dedicó mis logros a ellos. Ellos me han brindarme tanto aprendizaje académico y personal, guiándome con respeto, trabajo y dedicación a todas mis metas.

A toda mi familia, especialmente a mi abuela Ana Femayor y mi tía Leida León, quienes hoy ya no están físicamente conmigo, pero en mi corazón siempre estarán presente, sé que estarían orgullosas de todas las metas que he logrado.

A mis compañeros de clases, que me apoyaron en los momentos que más los necesite, todos esos momentos están plasmados en mi corazón.

José Virgilio Junior León González

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios principalmente por ser siempre mi guía, por brindarme toda la salud y sabiduría necesaria para adquirir y poner en práctica los conocimientos aprendidos en nuestra prestigiosa casa de estudio

A mis padres por ser pilares fundamentales en todas las metas de mi vida, tanto académicas como personales, gracias por siempre estar para mí en todo momento, por brindarme todos los recursos que en su debido momento necesite para cumplir con mis compromisos.

A todos mis familiares, amigos y compañeros en general que de alguna u otra manera estuvieron presentes esta trayectoria tan importante en mi vida.

A mi tutor, el Ing. Dafnis Echeverría, por estar dispuesto en todo momento a la realización de este trabajo de investigación, una persona atenta a cada detalle para que se cumplieran todas las metas planteadas.

A la Universidad de Oriente, la casa más alta, la cuna de profesionales, hoy agradezco por acogerme en sus aulas desde el primer día hasta este momento, el camino no fue fácil pero hoy puedo decir que lo logre, con sacrificios, compromiso y dedicación lo logre.

A la Alcaldía del Municipio Gran Sabana y su personal de trabajo por su apoyo logístico y suministro de información para el cabal desarrollo del presente estudio.

Ariannys Nahomys Chacare Fayola  
José Virgilio Junior León González

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el lecho de la cuenca media del río Wará, en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar. El objetivo del estudio es realizar un análisis de las características que tienen los sedimentos del lecho en un tramo de flujo controlado de la cuenca media del río Wará y su incidencia en los azolves presentes en el embalse Wará I. Para el desarrollo de este objetivo se aplicó una metodología de investigación de tipo descriptiva con un diseño de campo y documental. Para el logro de la investigación se realiza un reconocimiento del área de estudio; luego, se construyó un plano topográfico, con base a la información topo-batimétrica del área de estudio, que permitirán describir geomorfológicamente dicha zona. Se realizó la caracterización textural de cinco (5) muestras tomadas en el cauce de la cuenca media del río Wará y de tres (3) muestras de los suelos del lecho del embalse de las áreas del vaso de almacenamiento donde se observa acumulación de azolves. Se efectuó la comparación textural entre las muestras captadas. Entre los resultados relevantes se concluyó que los azolves acumulados en el interior del embalse guardan relación textural con las muestras tomadas en el cauce del río Wará en su cuenca media. Por otro lado, todas las muestras tomadas en el lecho de la cuenca media del río Wará corresponden a arenas mal gradadas (SP) y asimismo, la distribución granulométrica de los azolves presentes en el vaso de almacenamiento se corresponden con igual tipo de materiales (arenas mal gradadas, SP). La morfoscopía de las partículas de las muestras de la cuenca media y las cercanas al embalse son predominantemente subangulosas y subredondeadas. De acuerdo al modelo de Visher, los mecanismos de transporte de sedimentos que se presume coadyuvaron al desplazamiento de los sedimentos desde la cuenca media del río Wará hasta la represa Wará I, fue el de saltación y según el modelo de Hjulström, para el transporte de las partículas se requería una velocidad media del flujo entre 3.5 y 19 cm/s.

## CONTENIDO

	Página
<b>ACTA DE APROBACIÓN.....</b>	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VI</b>
<b>CONTENIDO.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE APÉNDICES .....</b>	<b>XIV</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>3</b>
<b>SITUACIÓN A INVESTIGAR .....</b>	<b>3</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Objetivos de la investigación .....	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivos específicos .....	5
1.2 Justificación de la investigación.....	6
1.3 Alcance de la investigación.....	6
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>8</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>8</b>
2.1 Ubicación del área de estudio .....	8
2.2 Clima.....	11
2.3 Hidrografía .....	13
2.4 Geología.....	15
2.5 Vegetación del área de estudio.....	16

2.6 Fauna del área de estudio .....	18
<b>CAPÍTULO III</b> .....	20
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	20
3.2.6 Ecuación de la conservación de la energía de Bernoulli .....	26
3.2.11.2 Auto CAD .....	34
3.2.13 Escala granulométrica .....	35
3.2.14 Determinación del grado de redondez de las partículas .....	36
3.2.15 Morfología de ríos .....	39
3.2.16 Clasificación de los ríos .....	40
3.2.17 Movimiento de sedimentos según modelo de Hjulstrum (1935) .....	44
3.3.1 Ley de aguas .....	47
3.4 Definición de términos básicos .....	49
3.4.1 Afluentes .....	49
3.4.2 Aliviadero .....	49
3.4.3 Área del embalse .....	49
3.4.4 Ataguía .....	49
3.4.5 Auscultación .....	50
3.4.6 Avenida .....	50
3.4.7 Avenida de proyecto .....	50
3.4.8 Caudal .....	50
3.4.9 Coronación .....	50
3.4 10 Corte .....	51
3.4 11 Cuenca hidrográfica .....	51
3.4.12 Cuenca vertiente .....	51
3.4.13 Derivar .....	51
3.4.14 Desagüe de fondo .....	51
3.4.15 Distancia de resguardo .....	52
3.4.16 Erosión .....	52

3.4 17 Espesor de tongada del hormigón.....	52
3.4 18 Estabilidad .....	52
3.4 19 Evaporación .....	52
3.4.20 Longitud de la coronación de la presa.....	53
3.4.21 Márgenes del embalse .....	53
3.4.22 Nivel aguas abajo .....	53
3.4.23 Nivel mínimo de explotación.....	53
3.4.24 Órgano de desagüe .....	53
3.4.25 Pie de la presa .....	54
3.4.26 Talud.....	54
3.4.27 Toma de agua.....	54
3.4 28 Umbral de los aliviaderos .....	54
3.4.29 Volumen activo .....	55
3.4.30 Volumen de control de avenidas .....	55
3.4.32 Volumen de nivelación.....	55
3.4-34 Volumen inactivo.....	56
3.4.35 Volumen muerto .....	56
3.4.36 Volumen útil .....	56
3.4.37 Zona inundable .....	56
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>57</b>
<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO .....</b>	<b>57</b>
4.1 Tipo de investigación.....	57
4.5 Flujograma de la metodología de trabajo. ....	61
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos .....	62
4.6.1 Recopilación de la información y reconocimiento de campo .....	63
4.6.2 Geomorfología del área de estudio .....	63
4.6.3 Descripción morfométrica de la cuenca .....	63
4.6.4 Características texturales de los sedimentos.....	67

4.6.5 Capacidad de arrastre de los flujos fluviales .....	67
4.6.6 Correlación de los sedimentos presentes.....	67
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>68</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>68</b>
5.1 Geomorfología de la cuenca media del río Wará.....	68
5.1.1 Morfometría de la cuenca media del río Wará.....	73
5.2 Características texturales de los sedimentos .....	74
5.2.1 Sedimentos del lecho del embalse Wará I.....	74
5.2.2 Sedimentos de la cuenca media del río Wará .....	77
5.2.3 Análisis morfoscópicos de las partículas .....	82
5.3 Características del flujo del río Wará en su cuenca media .....	83
5.3.1 Coeficiente de escorrentía ponderado.....	83
5.3.2 Determinación de la intensidad de las precipitaciones .....	85
5.3.3 Caudal aportado por la cuenca media del río Wará.....	87
5.4 Capacidad de arrastre de sedimentos del río Wará hasta Wará I. ....	88
5.5. Correlación de las características texturales de los sedimentos .....	90
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>91</b>
Conclusiones .....	91
Recomendaciones.....	92
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>93</b>
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>97</b>

## LISTA DE FIGURAS

		Página
2.1	Ubicación relativa del área de estudio.....	8
2.2	Ubicación del área de estudio en imagen de satélite Landsat (Google Earth, 2016).....	9
2.3	División Político Administrativa de la Región Hidrográfica del río Caroní (CVG EDELCA, 2007).....	10
2.4	Vista panorámica de Wará.....	11
2.5	Río Wará aguas abajo del dique Wará II.....	13
2.6	Microcuenca del río Wará (CVG EDELCA, 2007).....	14
2.7	Hidrografía de la subcuenca del río Uairén (CVG EDELCA, 1983).....	15
2.8	Cobertura vegetal de la cuenca del río Caroní (CVG-EDELCA, 2004)..	17
3.1	Redondez y Esfericidad de las Partículas (UDO, 2.000).....	39
3.2	Diagrama de Hjulstrum (1935). (Allen, 1965).....	44
3.3	Perfil longitudinal de un río, evidenciando una selección granulométrica (Reineck y Sing 1981).....	45
3.4	Tipos de transporte de los sedimentos de un río. (Reineck y Sing 1981).....	47
4.1	Flujograma de la investigación.....	61
5.1	Pendientes de Wará (Figueroa, M. 2007 en CVG EDELCA, 1983)....	70
5.2	Perfil longitudinal y trazado en planta de tramo de la cuenca media del río Wará en imagen satelital Landsat/Copernicus del 14/12/2018.....	70
5.3	Cuenca media del río Wará (línea amarilla trazo segmentado: cauce principal, línea recta trazo segmentado: eje axial, Línea trazo continuo: límites de la cuenca).....	71
5.4	Ubicación de puntos de muestreo E-1, E-2 y E-3 en el croquis del embalse Wará I .....	73
5.5	Curva granulométrica de la muestra E-1 .....	74
5.6	Curva granulométrica de la muestra E-2 .....	74
5.7	Curva granulométrica de la muestra E-3 .....	75
5.8	Ubicación de puntos de muestreo en la cuenca media del río Wará. Imagen satelital Landsat del 14/12/2018 .....	75
5.9	Curva granulométrica de la muestra CM-1 de la cuenca media del río Wará .....	76
5.10	Curva granulométrica de la muestra CM-2 de la cuenca media del río Wará .....	76
5.11	Curva granulométrica de la muestra CM-3 de la cuenca media del río Wará .....	78
5.12	Curva granulométrica de la muestra CM-14 de la cuenca media del río Wará .....	78

5.13	Curva granulométrica de la muestra CM-5 de la cuenca media del río Wará .....	78
5.14	Vista del lecho de sedimentos del embalse Wará I .....	78
5.15	Análisis morfosκόpico de las partículas de las muestras CM-1, CM-2, CM-3, CM-4 y CM-5 del lecho de la cuenca media del río Wará .....	79
5.16	Análisis morfosκόpico de las partículas de las muestras E-1, E-2 y E-3 del lecho del embalse Wará I .....	80
5.17	Gráfica IDF para Santa Elena de Uairén, período 1951-1976 (Bolinaga, J. 1979).....	83
5.18	Modelo de Hjulstrum para las muestras de la cuenca media del río Wará y del lecho del embalse Wará I .....	86
5.19	Distribución granulométrica según Visher de la muestra CM-3 .....	87

## LISTA DE TABLAS

	Página	
2.1	Precipitación media anual en la región hidrográfica río Caroní, sector alto y la subcuenca del río Uairén (mm). (CVG-EDELCA, 2003. CVG-EDELCA, 1983).....	12
2.2	Valores anuales promedios de las principales variables meteorológicas en la región hidrográfica río Caroní, sector alto y la subcuenca del río Uairén (mm). (CVG-EDELCA, 2003. CVG-EDELCA, 1983).....	12
2.3	Composición geológica de la Subcuenca del río Uairén. (CVG-EDELCA, 1983).....	15
3.1	Escala de Wentworth para clasificar las partículas de sedimentos clásticos según su tamaño (UDO, 2000).....	35
3.2	Grados de redondez de las partículas sedimentarias (Herrera, 1998).....	36
4.1	Valores interpretativos del factor forma (Pérez, 1979).....	65
4.2	Valores interpretativos de la pendiente de la cuenca (Pérez, 1979).....	66
5.1	Parámetros morfométricos para la cuenca media del río Wará, entre las represas Wará II y Wará I.....	72
5.2	Coordenadas de ubicación de muestras del lecho del embalse Wará ....	72
5.3	Coordenadas UTM REGVEN de ubicación de muestras del lecho de la cuenca media del río Wara .....	75
5.4	Coefficientes de escorrentía (Aparicio, 1999).....	81
5.5	Coefficiente de escurrimiento ponderado para la cuenca media del río Wará .....	81
5.6	Estimación del tiempo de concentración .....	82
5.7	Intensidad de precipitaciones para la cuenca media del río Wará y períodos de retorno de 50 y 100 años .....	83
5.8	Estimación del caudal aportado por la cuenca del embalse Wará I .....	84
5.9	Fracciones de la muestra CM-5 según el mecanismo de transporte .....	87

## LISTA DE APÉNDICES

	Páginas
<b>APÉNDICE A</b>	93
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DEL LECHO DE La CUENCA MEDIA DEL RÍO WARÁ Y DEL EMBALSE WARÁ I</b>	94
A.1 Análisis granulométrico de la muestra CM-1 de la cuenca media del río Wará .....	95
A.2 Análisis granulométrico de la muestra CM-2 de la cuenca media del río Wará .....	95
A.3 Análisis granulométrico de la muestra CM-3 de la cuenca media del río Wará .....	95
A.4 Análisis granulométrico de la muestra CM-4 de la cuenca media del río Wará .....	96
A.5 Análisis granulométrico de la muestra CM-5 de la cuenca media del río Wará .....	96
A.6 A.6 Análisis granulométrico de la muestra E-1 del embalse Wará I ...	96
A.7 A.7 Análisis granulométrico de la muestra E-2 del embalse Wará I ...	97
A.8 A.8 Análisis granulométrico de la muestra E-3 del embalse Wará I ..	97
<b>APÉNDICE B</b>	97
<b>SECCIONES TRANSVERSALES A LA CUENCA MEDIA DEL RÍO WARÁ</b>	97
B.1 Perfil transversal 1 de la cuenca media del río Wará en imagen satelital Landsat/Copernicus del 14/12/2018 .....	98
B.2 Perfil transversal 1 de la cuenca media del río Wará en imagen satelital Landsat/Copernicus del 14/12/2018 .....	99

## INTRODUCCIÓN

La población de Santa Elena de Uairén, ubicada en el municipio Gran Sabana del estado Bolívar, se abastece de agua, en gran parte, mediante el agua almacenada en los embalses construidos en el río Wará, conocidos como Wará I y Wará II. Sin embargo, para el momento de realizar esta investigación, el embalse Wará I se encuentra totalmente vacío por diversos motivos centrados principalmente en problemas de filtraciones.

Por otro lado, el embalse Wará I ha recibido durante sus tres (3) décadas de operaciones una cantidad indeterminada de sedimentos. El objetivo fundamental de la presente investigación trata de estimar si los sedimentos almacenados o depositados en dicho embalse se corresponden con la naturaleza de los sedimentos presentes en el lecho del cauce de la cuenca media del río Wará, específicamente en el tramo comprendido aguas abajo de la represa Wará II.

Para el desarrollo de la investigación se ha seguido una investigación de tipo descriptiva utilizando una estrategia o diseño de campo y documental. A tal efecto, se analizarán las características morfoscópicas y granulométricas de muestras de suelo tomadas en la cuenca media del río Wará, ubicadas en el lecho en el tramo comprendido entre la ubicación de ambas represas.

Este documento se encuentra estructurado en cinco (5) capítulos:

En el Capítulo I. Situación a investigar. Se presenta el planteamiento del problema, los objetivos, justificación, alcance y limitaciones del estudio.

El Capítulo II. Generalidades: corresponde a los aspectos que describen al área de estudio como ubicación geográfica y características físico naturales y que no están incluidos en los objetivos específicos de la investigación.

El Capítulo III Marco teórico: presenta los antecedentes de investigación, los criterios teóricos y las bases legales en las cuales se sustenta la investigación.

Capítulo IV. Metodología de la investigación: muestra la metodología empleada para la realización de la investigación. Se desarrolla en él, el tipo y diseño de la investigación, la descripción de la población y la muestra, así como también las técnicas e instrumentos utilizados en la investigación y el flujograma de investigación..

En el Capítulo V, se presenta el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la metodología aplicada.

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

La movilización o acarreo de material por el agua se conoce técnicamente como transporte de sedimentos. Este fenómeno tiene múltiples implicaciones, de hecho, es importante para el diseño y ejecución de obras hidráulicas tanto de servicios, como de defensa (Aguirre-Pe, 1980). Por ello, ha sido motivo de múltiples estudios desde los inicios de la hidráulica fluvial y en especial durante las últimas seis décadas.

Hasta la fecha se han generado varios modelos con el propósito de estimar el transporte de sedimento bajo condiciones determinadas. Maza y García (2011) recopilaron más de 50 modelos de transporte de sedimentos.

Se pueden considerar dos tipos de transporte de sedimento en relación al tipo de material desplazado. En primer lugar, el transporte de material del fondo, correspondiente al material que como su nombre indica se encuentra en el lecho de un cauce. En segundo lugar, el transporte de material de lavado, material por lo general muy fino, de origen exógeno, que es producto de la erosión (Aguirre-Pe, 1980).

Caso especial del transporte de sedimento en un cauce se corresponde al que ocurre en las quebradas con corrientes de carácter pluvial, es decir cuyo flujo ocurre cuando se producen las precipitaciones. Evidentemente, el arrastre de sedimentos se producirá cuando el flujo de agua adquiere la energía necesaria que garantice el movimiento o transporte de los sedimentos.

Los modelos de transporte de material del fondo pueden clasificarse de diferentes maneras, una es en relación al tipo de arrastre del material, que puede ser por el fondo, en una capa considerada de dos veces el diámetro de las partículas, o en suspensión (Einstein, 1950). Según esta clasificación se distinguen modelos de transporte de carga de fondo, de carga en suspensión y de carga total. Otra clasificación se basa en modelos basados en diferencias de esfuerzos cortantes, tipo Du Boys, y en diferencias de caudales, tipo Schoklitsch, respecto a valores críticos; basados en consideraciones probabilísticas, tipo Einstein; y basados en el número de Froude densimétrico de las partículas (Machado, 2005).

Teniendo en cuenta todo esto, se pretende analizar el problema práctico de transporte de sedimentos que se movilizan a través del cauce en la cuenca media del río Wará ubicado en el municipio Gran Sabana del estado Bolívar. El conocimiento cualitativo y cuantitativo de este acarreo de sedimentos reviste particular importancia toda vez que muchos de estos sedimentos se depositarán aguas debajo de este sector, probablemente influyendo en las cantidades y características texturales de los azolves depositados en el embalse Wará I ubicado en el citado río. Esta circunstancia pudiese alterar de alguna manera las condiciones del flujo dentro del embalse y de la cantidad de agua disponible dentro del embalse para el consumo de los habitantes de Santa Elena de Uairén.

En ese orden de ideas, cabe formular las siguientes interrogantes de investigación :

¿Cuáles son las características del relieve de la cuenca media del río Wará que incidirían en el movimiento de sus sedimentos?

¿Cuáles son las características texturales de los sedimentos presentes en la cuenca media del río Wará y de los azolves presentes en el vaso de almacenamiento de la represa Wará I?

¿Cuáles son las características del flujo del agua en la cuenca media del río Wará?

¿Cómo es el flujo de los sedimentos del lecho del cauce en la cuenca media del río Wará y su depositación en el vaso de almacenamiento de la represa Wará I?

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar el transporte de sedimentos en un tramo de un cauce fluvial de flujo controlado en el río Wará, municipio Gran Sabana, estado Bolívar, Venezuela

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar geomorfológicamente la cuenca media del río Wará hasta la ubicación de la represa Wará I

2. Caracterizar texturalmente los sedimentos presentes en lecho del cauce en la cuenca media del río Wará y de los azolves presentes en el vaso de almacenamiento de la represa Wará I.

3. Describir las características del flujo del agua en la cuenca media del río Wará hasta la represa Wará I.

4. Establecer las condiciones cualitativas y cuantitativas del flujo de los sedimentos del cauce de la cuenca media del río Wará hasta su depositación como azolves en el embalse Wará I.

## **1.2 Justificación de la investigación**

El transporte de sedimentos que se produce en la cuenca alta del río Wará estará condicionado por variables como la geomorfología del río, las características texturales de los sedimentos, la pendiente del cauce y la magnitud del caudal del río. Ahora bien, estos sedimentos serán transportados generalmente como un flujo en dos fases y se acarrearán río abajo. En el caso que nos ocupa, los sedimentos acarreados serán probablemente sedimentados en el cauce del mismo río Wará y en el vaso de almacenamiento de la represa Wará I. Tales circunstancias ameritan o justifican la necesidad de analizar como se produce el transporte de sedimentos en este importante canal natural y la relación entre la textura de los sedimentos del cauce de la cuenca media del citado río en relación a la cantidad y textura de los azolves presentes en el vaso de almacenamiento de la represa Wará I.

## **1.3 Alcance de la investigación**

A través de la presente investigación se efectuará un análisis que permitirá correlacionar la cantidad y textura de los sedimentos del cauce de la cuenca media del río Wará y de los ya depositados en el embalse Wará I. En vista de ello y dada la cantidad de variables que pudieran incidir en las características texturales de los azolves depositados en el embalse de la presa citada se requerirá desglosar la investigación en varios estudios específicos tales como: la caracterización del relieve del cauce del río y de la cuenca, las características texturales de los sedimentos del cauce y del embalse, las condiciones del flujo y finalmente correlacionar tales características y su relación con la dinámica sedimentaria del sistema fluvial.

#### **1.4 Limitaciones de la investigación**

Para el momento de elaboración del presente anteproyecto de la investigación no se han detectado limitaciones u obstáculos que impidan el desarrollo normal del proceso de ejecución del Trabajo de grado.

## CAPÍTULO II GENERALIDADES

### 2.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el río Wará, entre los embalses Wará I y Wará II, en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar. Específicamente, se encuentra al oeste de la población Santa Elena de Uairén (capital del municipio). Geográficamente, el tramo en estudio se encuentra limitado de acuerdo a los paralelos y meridianos UTM (REGVEN): N 511374, N 510711 , E 706731 y E 707706.

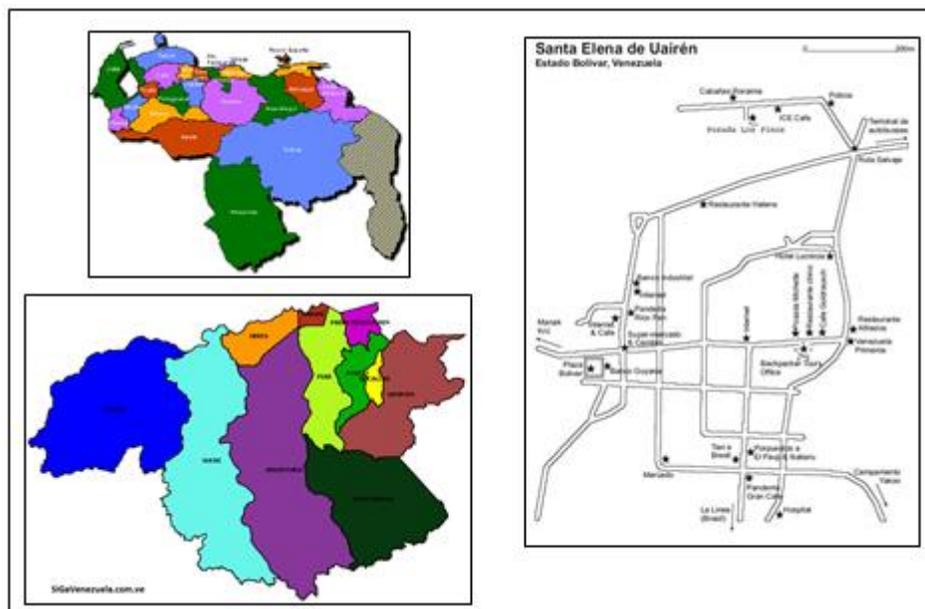


Figura 2.1 Ubicación relativa del área de estudio.



Figura 2.2 Ubicación del área de estudio en imagen de satélite Landsat (Google Earth, 2024).

Conforme a la figura legal de Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), Wará se encuentra en la sección sureste de la Zona de Seguridad Fronteriza del estado Bolívar y dentro de la Zona Protectora Sur del estado Bolívar<sup>2</sup>, relativamente cercana a la divisoria fronteriza con la República Federativa del Brasil (figura 2.3).

Además, de acuerdo a la sectorización llevada a cabo por la Dirección de Malariología (1936) del entonces Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS), la comunidad en estudio está en el Sector VI – Santa Elena de Uairén (CVG-EDELCA, 2007).

Wará se sitúa, según el Estudio del Plan Maestro de la cuenca del río Caroní (CVG-EDELCA, 2004), en el sector alto de la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC).

Específicamente, la comunidad en estudio se ubica en el valle contiguo al cerro Akurimá, dentro de la subcuenca del río Uairén, microcuenca del río Wará, área de especial interés para CVG-EDELCA, al constituir un ámbito espacial de referencia para la protección y conservación del aprovechamiento hidroeléctrico por ser área tributaria de la

subcuenca del río Uairén, cuenca del río Kukenán, uno de los afluentes principales del río Caroní.

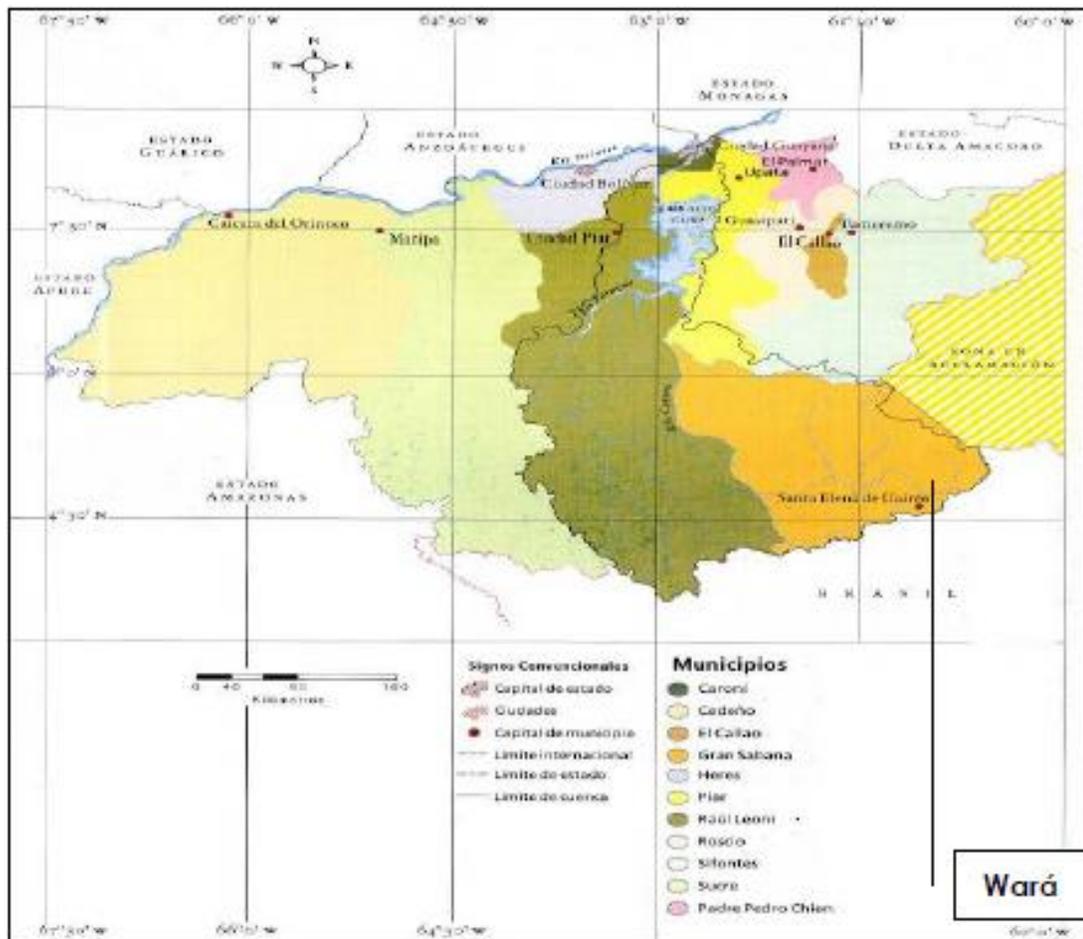


Figura 2.3 División político-administrativa de la Región Hidrográfica del río Caroní (CVG EDELCA, 2007).

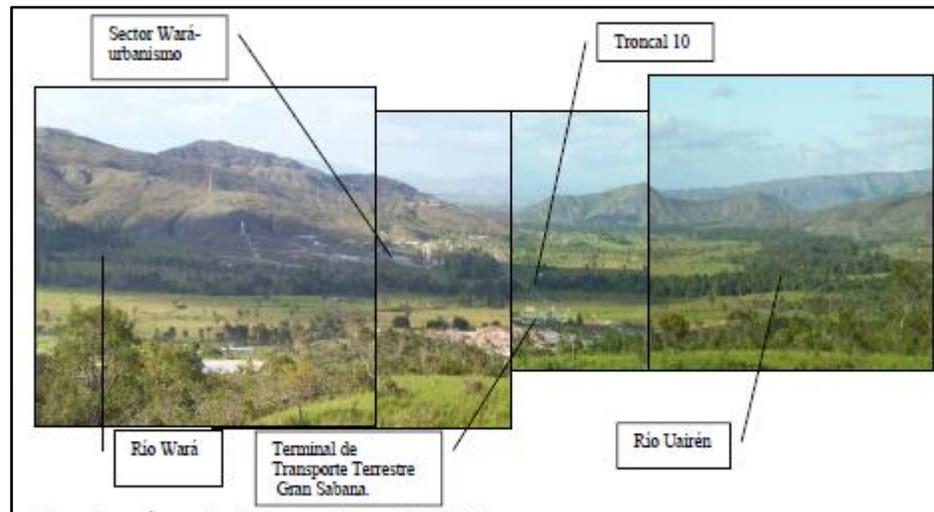


Figura 2.4 Vista panorámica de Wará (C.V.G. EDELCA, 2004).

## 2.2 Clima

De acuerdo al Estudio Físico Geográfico de la Subcuenca del río Uairén (1983), el clima de esa subcuenca es húmedo tropical con precipitaciones distribuidas regularmente a lo largo de todo el año y altos valores de insolación. Las variables de precipitación, evaporación, temperatura, humedad, radiación y vientos están determinadas por:

“..los efectos orográficos relacionados con la existencia de un gran número de elevaciones que modifican la dirección de los vientos, ocasionan el ascenso de las masas de aire que causan la condensación de la humedad transportada, permite la formación de nubosidad e inciden sobre la radiación recibida” (CVG-EDELCA, 2004, p. 46).

En cuanto a la precipitación en la subcuenca del río Uairén, es por convección tipo torrencial con régimen anual unimodal. El período seco se experimenta de diciembre a abril, febrero es el mes de menor pluviosidad. El período lluvioso es de mayo a noviembre y los meses muy húmedos son: junio, julio y agosto (CVG-EDELCA, 1983).

En los meses húmedos o de mayor precipitación se obtienen las máximas crecidas de los caudales, se activan los procesos de erosión y lixiviación (Ibidem), lo que afecta las vertientes y los suelos por el escurrimiento generado.

Los promedios anuales de precipitación en la RHRC, sector alto Caroní y la subcuenca del río Uairén se indican en la siguiente tabla 2.1:

Tabla 2.1. Precipitación media anual (mm) en la región hidrográfica río Caroní, sector alto y la subcuenca del río Uairén. (CVG-EDELCA, 2003. CVG-EDELCA, 1983).

Sector	Anual	Periodo seco	Periodo lluvioso
Región hidrográfica (1)	2.900	630	2.270
Sector alto (2)	2.670	460	2.210
Subcuenca del río Uairén (3)	1.700	488	1.202

En la subcuenca del río Uairén, el promedio anual de temperatura estimado durante el período 1951-1976 fue de 21.2°C y presentó una máxima media anual de 27.8 °C y una mínima de 16.1°C. (Ibidem, p. 4-5). Para complementar esta información se presentan en la tabla 2.2, los valores medios anuales de las variables climatológicas para la Región Hidrológica del Río Caroní (RHRC), sector alto Caroní y la subcuenca del río Uairén.

Tabla 2.2. Valores anuales promedios de las principales variables meteorológicas en la región hidrográfica río Caroní, sector alto y la subcuenca del río Uairén. (CVG-EDELCA, 2003. CVG-EDELCA, 1983).

Sector	Evaporación mm	Temperatura °C	Humedad relativa %	Radiación cal/cm2/día	Velocidad viento m/s
Región hidrográfica (1)	1.830	24,3	77	426	1,7
Sector alto (2)	1.690	22,1	78	406	1,6
Subcuenca del río Uairén (3)	700	21,2	83	-	1,3

### 2.3 Hidrografía

El río Caroní nace en los macizos Roraima-Tepuy y Kukenán-Tepuy, dirige sus aguas por el sector centro-oriental del estado Bolívar, drena en el río Orinoco el cual desemboca en el océano Atlántico. Tal río se caracteriza por una inmensa riqueza hidrográfica constituido por 245 subcuencas. El sector alto comprende 27% del espacio de la región hidrográfica del río Caroní (RHRC). Sus principales tributarios son los ríos Yuruaní, Aponwao y Karauay por la margen derecha (drenan 80% del territorio tributario del sector alto) y por la margen izquierda los ríos Kukenán, Uairén y Sucurúm. Las nacientes de los últimos ríos se ubican en la divisoria fronteriza definida por la sierra Pacaraima. (CVG-EDELCA, 2004, p.54)

La subcuenca del río Uairén presenta 680 km<sup>2</sup> de superficie, el río Uairén posee 64 km de longitud y discurre entre los niveles de 1.400 y 840 m. La subcuenca está conformada por siete (7) áreas hidrológicas principales, una de ellas es la micro-cuenca del río Wará (CVG-EDELCA, 1983). La citada micro-cuenca se estima en 52 km<sup>2</sup>, a través de ella fluyen gran cantidad de drenajes de patrón dendrítico de régimen intermitente que drenan al río Wará, el cual alimenta el colector principal o río Uairén por su margen occidental, para luego ser tributario del río Kukenán. El tipo de afluente es de 4to orden (Ibidem).



Figura 2.5 Río Wará aguas abajo del dique Wará II.

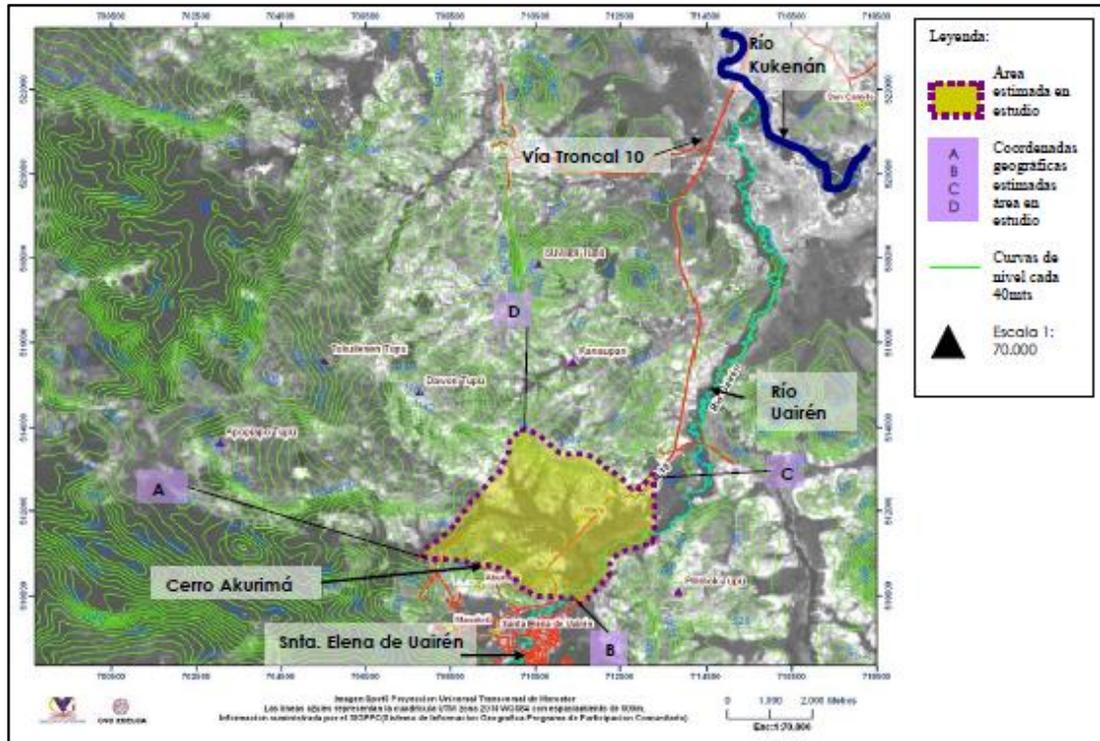


Figura 2.6 Microcuenca del río Wará (CVG EDELCA, 2007).

Del mismo modo, los períodos de máximas crecidas se corresponden a los especificados anteriormente. Durante la inspección de campo (Julio, 2018) el cauce del río Wará medía 18 m de ancho aguas abajo del dique Wará II. En otros tramos, según Figueroa, M (2007) el cauce y el área ribereña inmediata con la vegetación puede alcanzar hasta 229 m (figura 2.7).

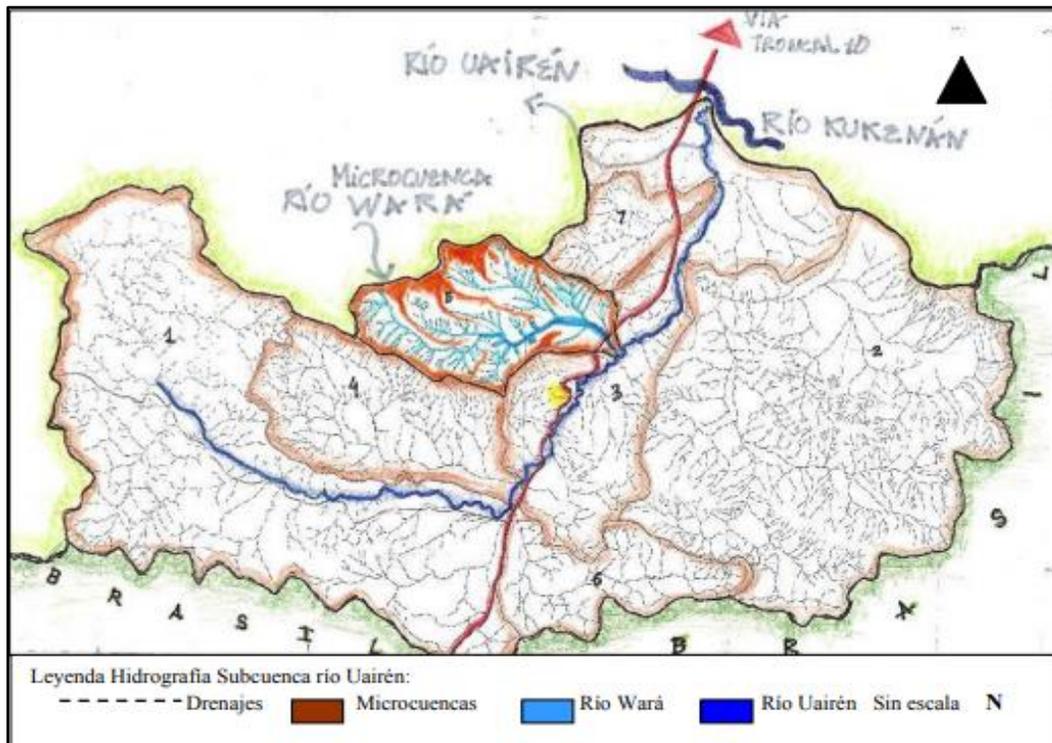


Figura 2.7 Hidrografía de la subcuenca del río Uairén (CVG EDELCA, 1983).

## 2.4 Geología

La subcuenca del río Uairén geológicamente pertenece a la parte norte del Escudo Guayanés donde afloran rocas que caracterizan a las provincias geológicas de edad precámbrica (oscilan entre 3.500 y 900 millones de años): Cuchivero, Roraima y Magmática de Roraima (CVG-EDELCA, 1983).

Tabla 2.3. Composición geológica de la Subcuenca del río Uairén. (CVG-EDELCA, 1983).

Provincia	Litología característica	Representación
Cuchivero	Rocas plutónicas y metavolcánicas.	Granitos, riolitas y rodacitas.
Roraima	Rocas sedimentarias e ígneas intrusivas.	Conglomerados basales, areniscas, arcillas, lutitas, etc.
Magmática del Roraima	Rocas intrusivas básicas.	Diabasa.

El Escudo Guayanés “comprende la provincia fisiográfica más antigua del territorio venezolano” (CVG-EDELCA, 2004, p.72), a la vez, la Región Hidrográfica del río Caroní experimenta poca o nula actividad sísmica debido, principalmente, a su ubicación a más de 300 km. al sur de la zona de convergencia de las placas tectónicas del Caribe y Suramérica (Ibidem, p.76). De acuerdo a la zonificación sísmica de Venezuela indicada por las normas COVENIN 1756-98 para el diseño de estructura sismos resistentes, Wará se localiza en la Zona 1 de muy bajo movimiento sísmico (Ibidem).

## 2.5 Vegetación del área de estudio

En el área de estudio se ha desarrollado un considerable número de especies vegetales adaptadas a sus ecosistemas. La vegetación se caracteriza por ser particular de la región y se desarrolla sobre suelos muy ácidos, derivados de la descomposición de las areniscas. Dominan las sabanas y bosques de galería, los cuales se sitúan a lo largo de los cursos de los ríos y quebradas que atraviesan las sabanas. Estos bosques presentan una vegetación muy variada donde se observan árboles, arbustos, bejucos, plantas epifitas y la palma moriche *Mauritia flexuosa* (figura 2.8).



Los arbustos raramente superan los 2 a 3 metros de altura. Las familias de plantas más importantes son Theaceae, Humiriaceae, Ericaceae, Compositae, Aquifoliaceae, Burseraceae, Sapotaceae. Entre las especies más altas, cabe destacar una Rutácea, la *Spathelia Fruticosa*, con tallos no ramificados de hasta cuatro metros, y un penacho de hojas compuestas en el ápice.

## **2.6 Fauna del área de estudio**

La fauna de la Gran Sabana es muy variada y depende de la altura y el tipo de vegetación.

Encontramos con oso melero, báquira, ardilla guayanesa, puma, venado, pereza de tres dedos, comadreja, zorro granjero, monos cara rayada, monos machín, ratones, oso hormiguero gigante, perro de agua o nutria gigante, jaguar o tigre y cunagueros, Murciélago Pescador, Vampiro Desmodus, Murciélago Narizón, Mono Araña, Mono Capuchino, Oso Melero, Perezoso de Dos Dedos, Ardilla Común, Conejo de Monte, Tonina Delfín de río. Reptiles como el camaleón, la iguana, el morrocoy selvático, serpientes como la falsa coral, Bejuca, anaconda, falsa mapanare, y venenosas como la coral, mapanare, cuaima piña y cascabel. En cuanto a las aves podemos citar el Guacamayo rojo, Perico cara sucia, rey zamuro, campanero, colibrí, pájaros capuchinos, gallito de las rocas, tucanes. También hay numerosas especies de ranas y sapos.

El Sapo Minero, es uno de los anfibios más interesantes de La Gran Sabana, al sur de Venezuela. Pertenece a una familia de sapos, cuyas especies se caracterizan por la secreción venenosa abundante que produce su piel. También son llamados "Veneno de flecha", ya que los indios usan dicha sustancia para envenenar la punta de sus dardos y flechas.

Viven en el piso húmedo y sombrío de la selva. Se los encuentra a menudo caminando sobre el ripio acumulado en el suelo y entre las plantas que lo cubren. Aún así, se destacan claramente, ya que la combinación de color negro y dorado que ostentan es muy fácil de detectar.

El hecho de ser tan llamativos, no los pone en peligro, pues pocos animales están interesados en saborear el veneno que producen. Por lo general, esta coloración avisa a un depredador potencial que si se le ocurre cazarlos se llevará un gran chasco y es posible que hasta pueda morir. En lugar de poner muchos huevos en el agua, como hacen otras especies, los sapos mineros ponen pocos huevos para que el macho pueda llevarlos todos adosados a su espalda.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes de la investigación**

Linares, B y Rodríguez, C (2018), elaboraron una investigación titulada “CARACTERIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS AZOLVES ALMACENADOS EN EL EMBALSE WARÁ II EN EL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA” en la cual se efectúa una descripción de los azolves o sedimentos existentes en el embalse del río Wara II. Esta investigación evidentemente podría servir de apoyo a la investigación aquí planteada para validar la información granulométrica de los sedimentos del embalse.

González, N. y Muñoz, A. (2018) elaboraron el estudio intitulado “ANÁLISIS DEL FLUJO MINERALÓGICO A TRAVÉS DE UN TRAMO DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA, en la cual se describe el contenido mineralógico de los sedimentos de la cuenca media del río Wará siendo esta, una parte integrante del área de estudio de la presente investigación, se considera que las características planteadas de los sedimentos en ese estudio complementarán la presente investigación.

#### **3.2 Bases teóricas**

##### **3.2.1 Canales abiertos**

Un canal abierto es un conducto en el cual el agua fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial.

### **3.2.1.1 Canales naturales**

Incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

Las propiedades hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos pueden hacerse suposiciones empíricas razonablemente consistentes con las observaciones y experiencias reales, de tal modo que las condiciones de flujo en estos canales se vuelvan manejables mediante el tratamiento analítico de la hidráulica teórica. Un estudio completo sobre el comportamiento del flujo en canales naturales requiere el conocimiento de otros campos, como hidrología, geomorfología, transporte de sedimentos, etc. Éste constituye, de hecho, un tema de estudio por sí mismo, conocido como hidráulica fluvial (Chow, V. 1990).

### **3.2.1.2 Canales artificiales**

Son aquellos contruidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canales de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a los largo de carreteras, etc., así como canales de modelos contruidos en el laboratorio con propósitos experimentales. Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados. La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirá, por tanto, resultados bastante similares a las condiciones reales, y por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseño.

El canal artificial por lo general es un canal largo con pendiente suave construido sobre el suelo, que puede ser no revestido o revestido con piedras, concreto, cemento, madera o materiales bituminosos (Chow, V., 1990).

### **3.2.2 Parámetros geométricos de los canales abiertos**

Un canal construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante conoce como canal prismático. De otra manera el canal es no prismático. Las secciones de canales naturales son, por lo general, muy irregulares, y a menudo varían desde aproximadamente una parábola hasta aproximadamente un trapecio. Para corrientes sujetas a crecientes frecuentes, el cual puede constar de una sección principal del canal que conduce los caudales normales una o más secciones laterales de canal para acomodar los canales de desborde.

Las secciones de canales artificiales a menudo se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares. El trapecio es la forma más común para canales con bancas en tierra sin recubrimiento, debido a que proveen las pendientes necesarias para estabilidad. El rectángulo y el triángulo son casos especiales del trapecio, debido a que el rectángulo tiene lados verticales, por lo general, se utiliza para canales construidos con materiales estables, como mampostería, roca, metal o madera. La sección triangular sólo se utiliza para pequeñas acequias, cunetas a lo largo de carreteras y trabajo de laboratorio. El círculo es la sección más común para alcantarillados o alcantarillas (*culverts*) de tamaños pequeño y mediano. La parábola se utiliza como una aproximación a secciones de canales naturales de tamaños pequeño y mediano. El rectángulo con esquinas redondeadas es una modificación del rectángulo. El triángulo con fondo redondeado es una aproximación de la parábola; esta es la forma creada a menudo con la utilización de excavadoras (Chow, V., 1990).

### 3.2.3 Elementos geométricos de una sección de canal

Los elementos son propiedades de una sección de un canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad del flujo. Estos elementos son muy importantes y se utilizan como amplitud en el cálculo de flujo.

Para secciones de canales rectangulares y simples, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad de flujo y de otras dimensiones e la sección. Para secciones complicadas y secciones de corrientes naturales, sin embargo, no se puede escribir una ecuación simple para expresar estos elementos, pero pueden prepararse curvas que representan la relación entre estos elementos y la profundidad de flujo para usos en cálculos hidráulico. Los elementos geométricos de importancia básica son los siguientes:

1. Profundidad de flujo: Es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre.
2. Profundidad de flujo de la sección: Es la profundidad de flujo perpendicular a la dirección de este, o la altura de la sección del canal que contiene el agua.
3. Nivel: Es la elevación o distancia vertical desde un nivel de referencia o datum hasta la superficie libre. Si el punto más bajo de la sección de canal se escoge como el nivel de referencia, el nivel es idéntico a la profundidad del flujo.
4. Ancho superficial  $T$ : Es el ancho de la sección del canal en la superficie libre.
5. Área mojada  $A$ : Es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de flujo.

6. Perímetro mojado P: Es la longitud de la línea de intersección de la superficie de canal mojado y de un plano transversal perpendicular a la dirección de flujo.

7. Radio hidráulico R: Es la relación del área mojada con respecto a su perímetro mojado.

8. Profundidad hidráulica D: Es la relación entre el área mojada y el ancho en la superficie.

9. Factor de sección para el cálculo de flujo crítico Z: Es el producto del área mojada y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica.

10. Factor de sección para el cálculo de flujo uniforme: Es el producto del área mojada y el radio hidráulico elevado a la potencia 2/3 (Chow, V., 1990).

### **3.2.4 Ecuación fundamental de Darcy**

La ley de Darcy es el pilar fundamental de la hidrología subterránea. Es una ley experimental obtenida por el ingeniero francés Henry Darcy en 1856 trabajando con medios homogéneos porosos y con un solo fluido. Lo que obtuvo fue que el caudal que atravesaba un permeámetro era linealmente proporcional a la sección y al gradiente hidráulico.

$$Q = \text{cte.} \cdot \text{Sección} \cdot dh \quad (3.1)$$

Darcy observó que esta constante era distinta para cada tipo de arena y concluyó que era propia y característica de cada arena y la llamó permeabilidad o más correctamente conductividad hidráulica.

En realidad  $K$  depende no solamente del medio sino también de la densidad y la fluido, pero su influencia, es despreciable en aguas subterráneas, excepto en puntos próximos a la costa.

Actualmente expresamos la ley de Darcy del siguiente modo:

$$q = -K\nabla h \quad (3.2)$$

Donde:

$q = Q / \text{sección}$ ; (es decir, el caudal que circula por  $m^2$  de sección) y se denomina “velocidad de Darcy” o “velocidad de flujo”. La velocidad real del agua es la velocidad de Darcy dividida entre la porosidad eficaz.

$\nabla h = \text{el gradiente hidráulico}$

$K = \text{tensor de conductividad hidráulica}$  (es un tensor sin menos se debe a que el caudal es una magnitud vectorial, cuya dirección es hacia los  $\Delta h$  decrecientes; es decir, que  $\Delta h$  o  $dh$  es negativo y por tanto, el caudal será positivo (Chow, V., 1990).

### **3.2.5 Ecuación fundamental de Manning**

Según Chow, V. (1990):

Esta ecuación fue desarrollada a partir de siete (7) ecuaciones diferentes, basada en los datos experimentales de Bazin y además verificada mediante 170 observaciones. Debido a la simplicidad de su forma y a los resultados satisfactorios que arroja en

aplicaciones prácticas, la ecuación de Manning se ha convertido en la más utilizada de todas las ecuaciones de flujo uniforme para cálculos de flujo de canales abiertos.

$$V = 1.49/n \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (3.3)$$

Donde:

V = la velocidad media en pies/s,

R = el radio hidráulico en pies,

S = la pendiente de la línea de energía y

n = coeficiente de rugosidad, específicamente conocida como n de Manning (Chow, V., 1990) .

### 3.2.6 Ecuación de la conservación de la energía de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre la presión, velocidad y elevación y es válida en condiciones de estado estacionario, flujo incompresible, donde la fuerza friccional neta es despreciable.

Para los casos en los que el canal abierto sea horizontal o tenga una pequeña Pendiente, se puede aplicar la ecuación de la conservación de energía de Bernoulli entre dos puntos de una misma línea de corriente (Chow, V., 1990)

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \quad (3.4)$$

### **3.2.7 Estados del flujo**

El estado o comportamiento del flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de gravedad y viscosidad en relación con las fuerzas inerciales del flujo.

La tensión superficial del agua puede afectar el comportamiento del flujo bajo ciertas circunstancias, pero no juega un papel significativo en la mayor parte de los problemas de canales abiertos que se presentan en ingeniería (Chow, V., 1990).

#### **3.2.7.1 Flujo laminar**

El flujo es laminar si las fuerzas viscosas son muy fuertes en relación con las fuerzas inerciales, de tal manera que la viscosidad juega un papel importante en determinar el comportamiento del flujo. En el flujo laminar, las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves definidas o líneas de corriente, y las capas de fluido con espesor infinitesimal parecen deslizarse sobre capas adyacentes (Chow, V., 1990).

#### **3.2.7.2 Flujo turbulento**

El flujo es turbulento si las fuerzas viscosas son débiles en relación con las fuerzas inerciales.

En este tipo de flujo, las partículas del agua se mueven en trayectorias irregulares, que no son suaves ni fijas, pero que en conjunto todavía representan el movimiento hacia delante de la corriente entera (Chow, V., 1990).

### 3.2.7.3 Flujo crítico

Es un estado teórico en corrientes naturales y representa el punto de transición entre los regímenes subcrítico y supercrítico. Se caracteriza por varias condiciones importantes.

En resumen, estas son: 1) la energía específica es mínima para un caudal determinado; 2) el caudal es máximo para una determinada energía específica la fuerza específica es mínima para un caudal determinado; 4) la altura de velocidad es igual es igual a la mitad de la profundidad hidráulica en un canal de baja pendiente con distribución uniforme de velocidades es igual a la celeridad de pequeñas codas gravitacionales en aguas poco profundas causadas por perturbaciones locales.

Los análisis sobre el estado crítico de flujo se han referido principalmente a una sección particular de canal, conocida como sección crítica. Si el estado crítico del flujo existente a través de toda la longitud del canal o a lo largo de un tramo de éste, el flujo en el canal es un flujo crítico.

Debido a que la profundidad del flujo crítico depende de los elementos geométricos A y D de la sección de canal cuando el caudal es constante, la profundidad crítica en un canal prismático con pendiente uniforme será la misma en todas las secciones, y el flujo crítico en un canal prismático deber ser por consiguiente flujo uniforme. Para esta condición, la pendiente del canal que mantiene un determinado caudal con una profundidad uniforme y crítica se conoce como pendiente crítica.

Una pendiente del canal menor que la pendiente crítica producirá un flujo más lento de naturaleza sub crítica para el caudal determinado, tal como se demostrará más adelante y por consiguiente, se conoce como pendiente suave o sub crítica.

#### **3.2.7.4 Flujo sub crítico**

Tiene una velocidad relativa baja y la profundidad es relativamente grande, prevalece la energía potencial. Corresponde a un régimen de llanura (Chow, V. 1990).

#### **3.2.7.5 Flujo supercrítico**

Tiene una velocidad relativamente alta y poca profundidad prevalece la energía cinética. Propios de cauces de gran pendiente o ríos de montaña (Chow, V., 1990).

### **3.2.8 Tipos de flujo**

La clasificación del flujo en canales abiertos se resume de la siguiente manera:

#### **3.2.8.1 Flujo permanente**

Se dice que el flujo es permanente en un canal abierto si la profundidad de flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración (Chow, V., 1990).

#### **3.2.8.2 Flujo no permanente**

Se dice que el flujo es no permanente si la profundidad cambia con el tiempo. En la mayor parte de los problemas de canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo sólo bajo condiciones permanentes.

Sin embargo, el cambio en la condición del flujo con respecto al tiempo es importante, el flujo debe tratarse como no permanente (Chow, V., 1990).

### 3.2.9 Modelo unidimensional

Cuando existe una dirección del flujo que prevalece sobre las demás es factible utilizar un modelo unidimensional, pero a veces, existen encuentros de ríos, movimientos de flujo rodeando estructuras, meandros, y desbordamientos de cauces. Cuando esto sucede se tienen que utilizar modelos bidimensionales mucho más costosos en información requerida, más complejos matemáticamente hablando y más lentos que los modelos unidimensionales.

Las ecuaciones que describen el régimen variable en lámina libre en una dimensión son las ecuaciones de Saint Venant, deducidas por Barré de Saint Venant en 1871 y describen tanto el régimen gradualmente variable, como el rápidamente variable.

En esos modelos unidireccionales se resuelven las ecuaciones de Saint-Venant y se obtienen las velocidades medias en la sección transversal del cauce. Por esto, es más preciso introducir en el programa de cálculo las características topográficas medias de un tramo que introducir la topografía de todas las secciones transversales disponibles.

Los modelos unidimensionales son un método válido para cálculos donde la evolución temporal no sea importante y el flujo sea unidimensional. Se basan en esquemas numéricos relativamente simples pero de gran utilidad, son capaces de simular cambios de régimen crítico a sub-crítico, cauces con geometrías difíciles y llanuras de inundación. También son capaces de calcular el movimiento del agua a través de obras especiales como puentes, tuberías, presas, etc.

La velocidad del movimiento del agua en un cauce natural se supone en la misma dirección que el sentido del flujo por lo que éste es dirigido por los principios

fundamentales de conservación de la masa y segunda ley de Newton en una dirección horizontal. Con esta simplificación hay que hacer una serie de hipótesis como la de distribución hidrostática de presiones.

En lenguaje matemático, adquieren la forma de ecuaciones en derivadas parciales. Se trata en definitiva de un sistema hiperbólico no lineal de leyes de conservación.

Los modelos matemáticos unidimensionales son los modelos más fáciles con los que es posible simular el movimiento del agua en un cauce natural, ya que en el sistema de ecuaciones las incógnitas a resolver son menores que en los bidimensionales y los datos que necesita para modelar el movimiento unidimensional es menor que los que se necesitan para modelar los caudales bidimensionales y tridimensionales.

En los modelos de movimiento de caudal unidimensionales no se necesita un grado de detalle profundo, porque las ecuaciones diferenciales utilizadas para resolver el caso sólo consideran los datos topográficos e hidráulicos medidos en cada una de las secciones transversales a la dirección principal del flujo.

Pese a esto, los modelos matemáticos unidimensionales se basan en una esquematización más detallada de la topografía y de la hidráulica que los modelos de flujos bidimensionales y tridimensionales (Chow, V., 1990) .

### **3.2.10 Modelo bidimensional**

Cuando existe una dirección en el caudal de un río que predomina es posible recurrir a un modelo unidimensional, pero en confluencias de ríos, en flujos alrededor de estructuras, en cauces compuestos, en curvas, en desbordamiento de cauces esto no es así debiéndose utilizar un modelo bidimensional, más complejo y completo.

Como proponen García Navarro y Zorraquino [54] en su artículo “Estudio hidráulico del riesgo de inundación en el meandro de Ranillas: modelos de simulación numérica”, en la simulación numérica de los flujos fluviales existen discrepancias sobre la validez del uso de modelos hidráulicos basados en ecuaciones diferenciales, sobre todo, debido a las numerosas simplificaciones e hipótesis que se deben realizar y también sobre los métodos de discretización y resolución aplicados para resolverlas.

La aplicación de las técnicas numéricas para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales que se configura como el modelo matemático de esta clase de flujos fue estudiado por Cunge et al (1975).

Estos modelos simplifican la dificultad de resolución del modelo dinámico del agua, de tipo hiperbólico y no lineal.

De entre las técnicas más utilizadas para la discretización del problema completo destaca el esquema implícito de cuatro (4) puntos y su aplicación comercial más conocida Dambreak.

Como se indicó con anterioridad, el movimiento del agua en un cauce natural es dirigido por los principios fundamentales de conservación de la masa y segunda ley de Newton en dos direcciones horizontales. En el modelo de flujo bidimensional las hipótesis son que las ondas del caudal que se originan en la superficie varían gradualmente, las pérdidas de carga por rozamiento del flujo transitorio no varían sustancialmente de las pérdidas en flujo estacionario, y la pendiente media del fondo del cauce al ser pequeña se puede promediar.

En lenguaje matemático, son ecuaciones en derivadas parciales. Se trata de un sistema hiperbólico no lineal de leyes de conservación.

Estos modelos bidimensionales desarrollan las ecuaciones de Saint Venant en forma conservativa basándose en la técnica de los elementos finitos desarrollada por Cunge en 1975 (Chow, V., 1990).

### **3.2.11 Programas computarizados de Aplicación**

#### **3.2.11.1 HEC RAS (*Hydraulic Engineering Center – River Analysis System*)**

Los modelos que permiten estudiar cauces fluviales mediante la aproximación unidimensional y régimen permanente gradualmente variado son lo más extensamente utilizados por su sencillez y amplia difusión. Entre ellos destaca el modelo HEC RAS del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (*U.S. Army Corps of Engineers -USACE*). Este modelo ha ido evolucionando con el tiempo y aumentando sus capacidades, de manera que permite representar ríos con cambio de régimen, secciones compuestas irregulares, puentes, pasos bajo vías, uniones etc. A su vez posee cómodas interfaces gráficas para representar la geometría y ver los resultados, comparando distinta hipótesis de funcionamiento, y realizar informes. Su limitación principal es la de sus hipótesis principales: régimen permanente e unidimensional.

HEC RAS es un programa de uso libre, desarrollado por el *Hydrologic Engineering Center* del USACE (USACE, 1990). El programa permite calcular redes fluviales y permite considerar elementos especiales como puentes, azudes, compuertas, tubos, etc.

El estudio para un río determinado se llama un proyecto, y en cada proyecto puede haber diversos planes, siendo cada plan una combinación de una geometría determinada con unas condiciones de flujo dadas (caudales y condición de contornos).

### 3.2.11.2 AutoCAD

Es un programa utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk, Inc. El nombre AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, en que AUTO hace referencia a la empresa creadora del programa y CAD (siglas en inglés de *Computer aided design*) lo cual traducido a Castellano significa Diseño Asistido por Computadora, teniendo su primera aparición en 1982 (Autodesk, Inc., 2014).

Al igual que otros programas de diseño asistido por ordenador, AutoCAD gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica en la que se muestran éstas, el llamado editor de dibujo. La interacción del usuario se realiza a través de comandos, de edición o dibujo, desde la línea de órdenes, a la que el programa está fundamentalmente orientado. Las versiones modernas del programa permiten la introducción de éstas mediante una interfaz gráfica de usuario o en inglés GUI, que automatiza el proceso (Autodesk, Inc., 2014).

AutoCAD procesa imágenes de tipo vectorial, aunque admite incorporar archivos de tipo fotográfico o mapa de bits, donde se dibujan figuras básicas o primitivas (líneas, arcos, rectángulos, textos, etc.), y mediante herramientas de edición se crean gráficos más complejos. El programa permite organizar los objetos por medio de capas o estratos, ordenando el dibujo en partes independientes con diferente color y grafismo. El dibujo de objetos seriados se gestiona mediante el uso de bloques, posibilitando la definición y modificación única de múltiples objetos repetidos (Autodesk, Inc., 2014).

Parte del programa AutoCAD está orientado a la producción de planos, empleando para ello los recursos tradicionales de grafismo en el dibujo, como color, grosor de líneas y texturas tramadas. AutoCAD es un software reconocido a nivel

internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D, es uno de los programas más usados por arquitectos, Ingenieros y diseñadores industriales (Autodesk, Inc., 2014).

### **3.2.12 Análisis granulométrico**

Consiste en clasificar por tamaño los granos que lo componen. Un análisis de esta clase expresa cuantitativamente las proporciones en peso de las partículas de distintos tamaños que hay en el sedimento. La forma de realizarlo es por medio de una serie de tamices que definen el tamaño de las partículas (UDO, 2000) (Tabla 3.1).

### **3.2.13 Escala granulométrica**

La escala comúnmente empleada en la actualidad por los sedimentólogos es la de Udden-Wentworth, (1922), que toma el milímetro como punto de partida para estimar el diámetro promedio de tamaño para una partícula sedimentaria y emplea la razón  $\frac{1}{2}$  para obtener los diámetros límites de sus clases de tamaño de 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ , etc.

De esta forma, se definen los términos de la escala granulométrica en bloques, grava, arena, limo y arcilla (Lane, 1947 en García, O. 1981). El estudio del tamaño de las partículas da indicio del grado de energía implicado en su mecánica de depositación (por ejemplo, una partícula del tamaño de la arcilla está relacionada con un tipo de energía menor que la necesaria para mover partículas de arena o grava (García, O., 1981) (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Escala de Udden-Wentworth para clasificar las partículas de sedimentos clásticos según su tamaño (Pettijohn, 1970).

Característica del sedimento		Fragmen to	Grado	Tamaño (mm.)		Tamizado	Nombre de la roca consolidada
				Decimal	Fracción		
Sedimento	Granular	Canto rodado (Cantos grandes)	Muy Grande		4-2 m.		
			Grande		2-1 m.		
			Mediano		1-0,5 m.		
			Pequeño		0,5-0,256 m.		
		Guijarro (Cantos medianos)	Grande		256-128		
			Pequeño		128-64		
		Grava (Cantos pequeños)	Muy Gruesa		64-32	Pasa por el Tamiz N° 3 y es retenida por el Tamiz N° 4	Conglomerado
			Gruesa		32-16		
			Media		16-8		
			Fina		8-4		
	Muy Fina			4-2			
	Arena	Muy Gruesa		2-1	Pasa por el Tamiz N° 4 y es retenida por el Tamiz N° 200	Arenisca	
		Gruesa	2-0,5	1-½			
		Media	0,5-0,25	½-¼			
		Fina	0,25-0,0625	¼-1/8			
	Cohesivo	Limo	Grueso	0,0625-0,0312	1/16-1/256	Pasa por el Tamiz N° 200	Limolita
			Medio	0,0312-0,016			
			Fino	0,016-0,004			
		Arcilla	Gruesa	0,004-0,002	1/16-1/4096	Pasa por el Tamiz N° 200	Lutitas/Argilitas
			Media	0,002-0,001			
Fina			< 0,001				

### 3.2.14 Determinación del grado de redondez de las partículas sedimentarias

Debido a la dificultad de distinguir las ligeras diferencias en la redondez de las partículas pequeñas se han propuesto cinco grados de redondez (Pettijohn, 1970).

Cada una de las clasificaciones existentes se diferencia cuando se necesita tener una discriminación más afinada y se requieren hacer análisis estadísticos más rigurosos con los resultados (Tabla 3.2).

En la Tabla 3.2 puede observarse que los cinco grados de redondez propuestos por Russel y Taylor no son iguales en tamaño.

Esta desigualdad surge a raíz de la dificultad en distinguir ligeras diferencias en redondez, cuando los valores de estos son pequeños. Los grados de redondez de acuerdo a Pettijohn, F.J. (1970) son los siguientes:

Tabla 3.2 Grados de redondez de las partículas sedimentarias (Russel y Taylor, 1937).

Nomenclatura de los grados de redondez	Russel y Taylor		Pettijohn	
	Límites de las clases	Punto medio	Límites de las clases	Punto medio
Anguloso	0,00 – 0,15	0,075	0,00 – 0,15	0,125
Subanguloso	0,15 – 0,30	0,225	0,15 – 0,25	0,200
Subredondeado	0,30 – 0,50	0,400	0,25 – 0,40	0,315
Redondeado	0,50 – 0,70	0,600	0,40 – 0,60	0,500
Muy Redondeado	0,70 – 1,00	0,850	0,60 – 1,00	0,800

#### 3.2.14.1 Anguloso (0-0,15)

Las aristas y los vértices son agudos y muestran poca o ninguna prueba de desgaste. Los vértices secundarios son numerosos (Russel y Taylor, 1937) (Tabla 3.2).

#### 3.2.14.2 Sub-anguloso (0,15-0,25)

Los fragmentos mantienen aún su forma primitiva y las caras están virtualmente intactas, pero las aristas y los vértices han sido redondeados en cierto grado mostrando los efectos típicos del desgaste. Los vértices secundarios son numerosos (entre 10-20), pero menos que en los angulosos (Russel y Taylor, 1937) (Tabla 3.2).

#### 3.2.14.3 Sub-redondeado (0,25-0,40)

Las aristas y los vértices están redondeados en curvas suaves y la superficie de las caras primitivas se encuentran bastante reducidas, mostrando considerable desgaste

pero manteniendo aún la forma primitiva del grano. Los vértices secundarios están muy redondeados y en número reducido (Russel y Taylor, 1937) (Tabla 3.2).

#### **3.2.14.4 Redondeado (0,40-0,60)**

Las caras originales se muestran completamente destruidas, pero todavía pueden presentar alguna superficie plana. Puede haber ángulos cóncavos entre caras remanentes. Todas las aristas y los vértices originales han sido pulidos hasta curvas suaves y amplias. Los vértices secundarios están muy suavizados y escasos (entre 0-5). Con una redondez de 0,6 todos los vértices secundarios desaparecen, y aún se reconoce la forma primitiva (Russel y Taylor, 1937)

#### **3.2.14.5 Bien o muy redondeado (0,60-1,00)**

La superficie consta totalmente de curvas amplias, sin caras originales con aristas y vértices; carece de áreas planas y de aristas secundarias. La forma original se reconoce por la forma actual del grano (Tabla 3.2). El esquema actualmente empleado para medir el grado de redondez de los granos de arena y grava implica medidas sobre una proyección de la partícula sobre una superficie plana (Wadell, A. 1932-1933). La partícula que va a estudiarse se coloca en una placa de vidrio y se agita ligeramente hasta que entre en reposo en su superficie más amplia. Esto normalmente coloca a su diámetro menor en una posición vertical y a su diámetro máximo e intermedio en el plano de la placa. Así puede entonces ser fotografiada a la amplificación deseada o su imagen puede ser proyectada a una superficie (horizontal o vertical) para ser medida (Russel y Taylor, 1937) (figura 3.1).

De acuerdo con el esquema de Wadell, A., la redondez en una esquina dada de una partícula es  $r/R$ , en la cual  $r$  es el radio de curvatura en la esquina en cuestión y  $R$  es el radio del círculo máximo inscrito.

Por lo tanto, la redondez de la partícula como un todo es el promedio del redondeamiento de todas sus esquinas, es decir, es la suma de los valores de redondez para cada esquina dividida entre el número de radios.

a. Proyección de una partícula mostrando los radios de curvatura en cada esquina y el círculo máximo inscrito (para calcular su redondez) (Russel y Taylor, 1937).

b. Proyección de una partícula yaciendo sobre su superficie mayor, mostrando el círculo mínimo circunscrito (para calcular su esfericidad) (Russel y Taylor, 1937).

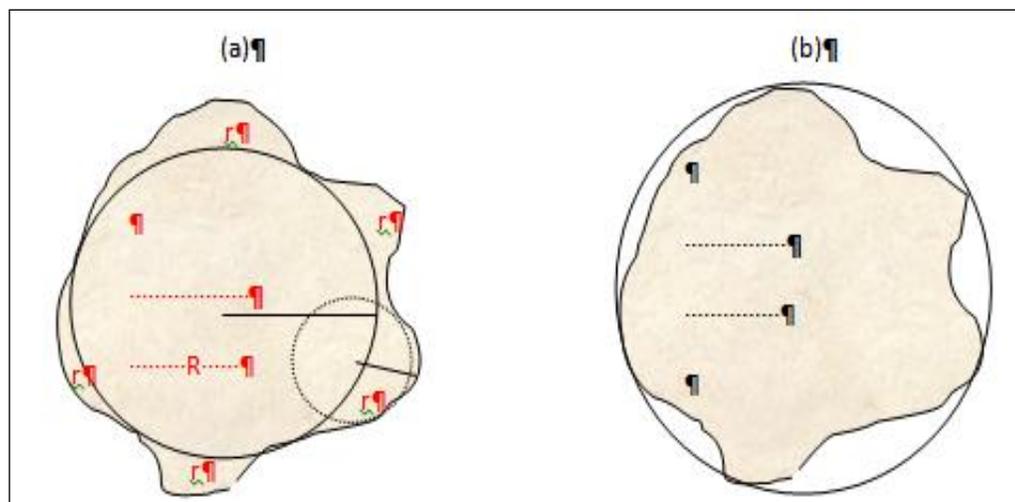


Figura 3.1 Redondez y Esfericidad de las Partículas (UDO, 2.000).

### 3.2.15 Morfología de ríos

La morfología de ríos estudia la estructura y forma de los ríos, incluyendo la configuración de cauce en planta, la geometría de las secciones transversales, la forma del fondo, las características del perfil. En esencia, las teorías y planteamientos analíticos para ríos se han desarrollado para casos idealizados. Los datos empleados,

ya sean de campo o de laboratorio, corresponden a canales rectos con secciones transversales casi invariantes, en los cuales se supone que el gasto es casi constante y se mantiene por grandes períodos. Efectivamente, los ríos reales muestran muchas de las características idealizadas en los canales estables; sin embargo, existen varias diferencias entre ambos, que es necesario conocer para aplicación satisfactoria de dichas teorías (Maza, J. y García, M. 2011).

### **3.2.16 Clasificación de los ríos**

Para facilitar el estudio de la morfología de ríos, se ha clasificado a los mismos desde diferentes puntos de vista. Esto permite ubicar fácilmente cualquier cauce para determinar sus principales características. Sin embargo, conviene tener siempre en cuenta que en la naturaleza se puede presentar cualquier condición intermedia entre las definidas en una clasificación (Maza, J. y García, M. 2011).

#### **3.2.16.1 Según su edad**

Geológicamente los ríos son clasificados como jóvenes, maduros y viejos. Los ríos jóvenes se encuentran en los cauces de montaña; tienen pendientes altas y secciones transversales tipo “V”. Son muy irregulares y están generalmente en proceso de degradación. Los ríos maduros se presentan en valles amplios y tienen pendiente relativamente bajas; la erosión de los márgenes han reemplazado a la erosión del fondo.

Los ríos maduros son estables y la sección transversal en cada tramo es capaz de transportar la carga de sedimento en todo su recorrido. Los ríos viejos se encuentran en valles amplios y planicies cuyo ancho es 15 a 20 veces mayor que el ancho de los meandros, y las pendientes son muy bajas. En estos ríos se forman depósitos naturales de sedimentos, a lo largo de los márgenes. Frecuentemente se forman amplias planicies y pantanos en las zonas vecinas a los márgenes del río. Los ríos viejos no tienen rápidas

o caídas, pero cerca de ellos pueden haber lagos con forma de cuerno o herradura, que son restos de meandros abandonados y se cortaron en forma natural (Maza, J. y García, M. 2011).

### **3.2.16.2 Por condición de estabilidad**

En los ríos se distinguen tres condiciones de estabilidad estática, dinámica y morfológica (Maza, J. y García, M. 2011).

a. Estática: un cauce tiene estabilidad estática, cuando la corriente es capaz de arrastrar sedimentos, pero no puede arrastrar o mover las partículas o los elementos de las orillas (Maza, J. y García, M. 2011).

b. Dinámica: un cauce tiene estabilidad dinámica cuando las variaciones de la corriente, los materiales de la plantilla y de las orillas, y los sedimentos transportados han formado una pendiente y una sección que no cambia apreciablemente año con año. En esta condición, el río sufre desplazamientos laterales continuos en las curvas, con erosiones en las márgenes exteriores y depósitos de sedimentos en las interiores. Todos los gastos antes de producirse un desbordamiento, escurren por un único cauce que no tiene islas o bifurcaciones (Maza, J. y García, M. 2011).

c. Inestabilidad dinámica: el río escurre por un solo cauce, como se indicó para la estabilidad dinámica, pero se presenta cuando el desplazamiento lateral de los meandros es muy intensa y por lo tanto, el corte natural de ellos ocurre muy frecuentemente. Por una parte, el río trata de alcanzar su pendiente de equilibrio al desarrollar sus meandros y por otra estos se estrangulan rápidamente y se cortan. Debido a lo señalado el tramo del río no alcanza a estabilizar su pendiente (Maza, J. y García, M. 2011).

d. Morfológica: este grado de estabilidad es el concepto más amplio; es decir, en cualquier cauce natural, la pendiente de un tramo cualquiera, el ancho y el tirante de su sección transversal, así como el número de brazos en que se divide el cauce, dependen del gasto líquido que escurre anualmente y de su distribución, de las características físicas de los materiales que forman el fondo y orillas, y de la calidad y cantidad del sedimento, que es transportado; este llega al tramo, tanto procedentes de aguas arriba como de aportaciones laterales. En otras palabras, cualquier corriente natural no alterada por factores humanos tiene estabilidad morfológica por ello un cauce que en forma natural tiene estabilidad estática o dinámica, también la tiene morfológica (Maza, J. y García, M. 2011).

### **3.2.16.3 Según los grados de libertad**

El grado de libertad de un escurrimiento es el número de parámetros que pueden ajustarse libremente, con el tiempo, al pasar gastos líquidos y sólidos preestablecidos (Maza, J. y García, M. 2011).

a. Un grado de libertad: cuando al variar el gasto en un cauce o canal sólo varía el tirante, se dice que existe un grado de libertad. Esto ocurre si el fondo, las paredes y la pendiente no cambian al variar el gasto (Maza, J. y García, M. 2011).

b. Dos grados de libertad: cuando sólo puede variar el tirante y la pendiente, se dice que el cauce tiene dos grados de libertad. Esto puede ocurrir cuando los márgenes son muy resistentes pero el fondo no (Maza, J. y García, M. 2011).

c. Tres grados de libertad: si además del tirante y la pendiente, también pueden alterarse los márgenes y ajustarse al ancho, se dice que el cauce tiene tres grados de libertad (Maza, J. y García, M. 2011).

#### **3.2.16.4 Por geometría**

Según (Maza, J. y García, M. 2011) se clasifican en:

a. Rectos: normalmente esto ocurre en pequeños tramos y son transitorios, ya que con cualquier irregularidad en la forma del cauce o en su alineamiento, o con la formación de bancos, o bien alguna obstrucción temporal, se originan disturbios locales que producen flujos transversales que inician la formación de curvas y meandros. Los tramos rectos o casi rectos se presentan también cuando el río escurre a través de una falla geológica (Maza, J. y García, M. 2011).

b. Con meandros: los cauces presentan curvas alternas unidas por tramos rectos y cortos. Normalmente la pendiente es baja. Estos cauces pueden presentar erosión en los márgenes exteriores de las curvas, principalmente en los tramos de aguas abajo. Existen profundas depresiones del fondo en las curvas y altas velocidades en las cercanías de los márgenes cóncavos. Los tirantes en las transiciones son menos profundos si se comparan con lo que ocurren en las curvas (Maza, J. y García, M. 2011).

c. Trenzados: a este tipo pertenecen aquellos que no presentan un solo cauce, sino por el contrario, continuamente a lo largo de su recorrido, se dividen en varios cauces que se entrelazan y se vuelven a separar. Estos cauces son amplios y los márgenes no están bien definidos. Con gastos bajos, existen dos o más cauces principales entrelazados y se forman cauces secundarios.

En las crecientes, el agua cubre todos los cauces y grandes cantidades de sedimentos se depositan rellenando los cauces antiguos. Por ello, en la siguiente época de estiaje se forman nuevos cauces entrelazados.

Generalmente estos cauces tienen pendientes altas, el material es grueso y llegan a ellos grandes cantidades de sedimentos. La principal característica de los ríos trezados es que están sujetos a un proceso de sedimentación (Maza, J. y García, M. 2011).

### 3.2.17 Movimiento de sedimentos según modelo de Hjulström (1935)

Para el proceso de erosión, transporte y sedimentación son diferentes sectores de cursos fluviales condicionados por el tamaño, densidad y forma de los sedimentos.

El diagrama de Hjulström, relaciona diferentes granulometrías de sedimentos con una velocidad de corriente de agua a las cuales son erosionadas, transportadas y sedimentadas (figura 3.2) (Allen, 1965).

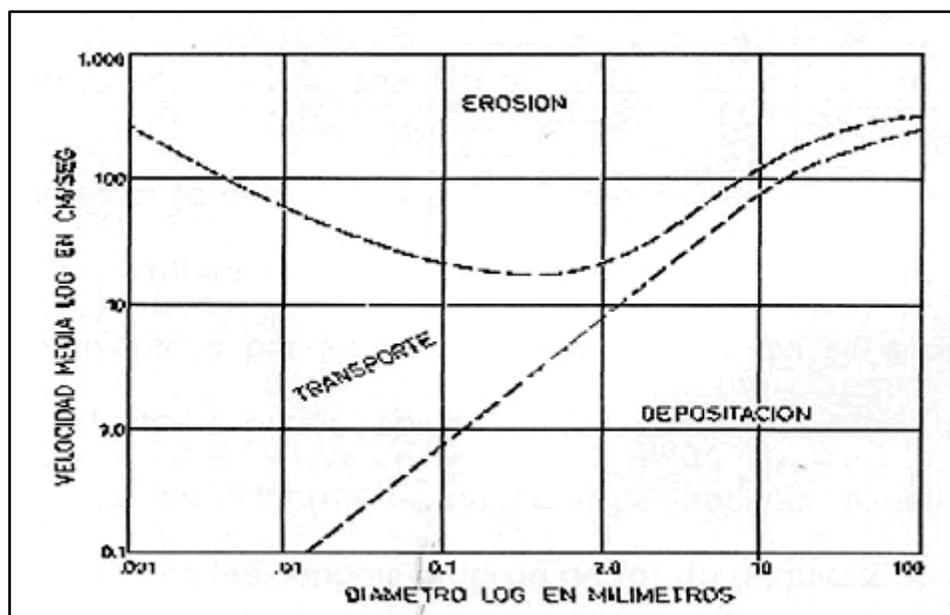


Figura 3.2 Diagrama de Hjulström (1935). (Allen, 1965).

Analizando las curvas de erosión/transporte y transporte/ sedimentación del diagrama se verifica que cada granulometría se comporta de forma distinta a diferentes velocidades de la corriente (Allen, 1965).

La curva de transporte/sedimentación, pone en evidencia que como aumenta la velocidad, pueden ser transportada de diámetros cada vez mayores, al paso que para una misma granulometría o trabajo de sedimentación realizado aumenta siempre, que la velocidad de corriente disminuye.

Consecuentemente a velocidades de corrientes va disminuyendo o el diámetro de materiales en transporte o depositados va siendo menor. Este fenómeno designa por selección granulométrica esta bien evidenciada en la figura 3.3 (Reineck y Sing ,1990).

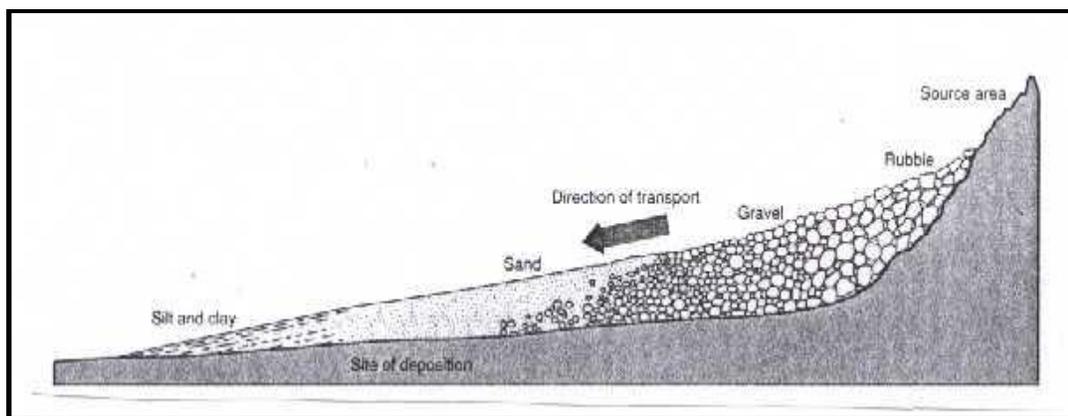


Figura 3.3 Perfil longitudinal de un río, evidenciando una selección granulométrica (Reineck y Sing, 1990).

Otro tipo de material seleccionado a lo largo de los ríos y su separación por densidades. En este caso los materiales se van sedimentando siempre que el agua tenga la capacidad para mantenerlas en movimiento. De esta forma, se originan algunas concentraciones de minerales de interés económico como: oro, plata, etc. Un curso

superior o medio de los ríos, independientemente de su diámetro. (Reineck y Sing , op. cit).

Analizando la curva de erosión/transporte del diagrama de Hjulstrum se verifica claramente que para el arranque de partículas de los márgenes del lecho es necesario una velocidad de corriente superior que se requiere para transportar y sedimentar. (Reineck y Sing , op. cit).

Por otro lado, se puede verificar que para sedimentos de dimensiones pequeñas existe una excepción en una recta para observar una subida en la curva del lado izquierdo del diagrama.

Este muestra que para los sedimentos más finos, la arcilla requiere una velocidad de corriente mayor para provocar erosión en las arenas. Este fenómeno se debe principalmente a la forma de las partículas arcillosas y a las fuerzas electrostáticas entre ellas. (Reineck y Sing , op. cit).

Las cargas eléctricas de la superficie de las partículas provocan una atracción entre ellas, dando origen a una masa cohesiva que resiste la erosión. Algunas dimensiones, densidades y formas de los sedimentos también determinan el tipo de transporte efectuado. Una carga sólida transportada por un curso de agua puede ser así mismo subdividida en carga de fondo, carga de suspensión y carga de saltación. Una carga de fondo constituye sedimentos gruesos y densos que son transportados sobre o próximos al lecho del río e influye el transporte por tracción y saltación. Un transporte por tracción sobre el fondo del lecho puede ser subdividida en dos tipos: rodamiento y arrastre causando una forma de sedimento, redondeada o laminar respectivamente. Una carga de suspensión constituida por sedimentos como las arcillas, que son suficientemente pequeñas para permanecer en suspensión indefinidamente por turbulencia de agua. Una apariencia lodosa de un curso de agua durante una intensa precipitación, por ejemplo: una elevada cantidad de carga en suspensión.

Una saltación es un tipo de transporte que se desarrolla generalmente de sedimentos arenosos y se caracteriza por una serie de saltos sobre el lecho del río. Constituye así mismo, un transporte intermedio entre tracción y suspensión. (figura 3.4).

Una carga de solución comprende disoluciones tales como: sodio, calcio, potasio, bicarbonato, cloro, etc., provenientes de procesos de meteorización química.

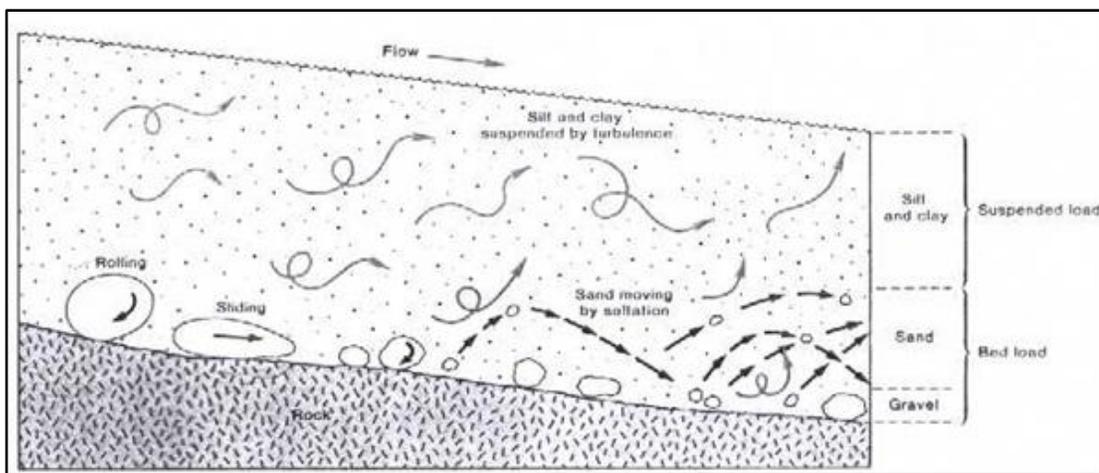


Figura 3.4 Tipos de transporte de los sedimentos de un río. (Reineck y Sing, 1990).

### 3.3 Bases Legales

#### 3.3.1 Ley de aguas

Se considera que esta ley contenida y publicada en la Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela No: 35.595 del 02-01-2007 apoya en todas sus partes este tipo de trabajo de investigación. Sin embargo, se mencionan a continuación solo dos (2) de los más importantes artículos que contiene.

Artículo 3.- La gestión integral de las aguas comprende, entre otras, el conjunto de actividades de índole técnica, científica, económica, financiera, institucional, gerencial, jurídica y operativa, dirigidas a la conservación y aprovechamiento del agua en beneficio colectivo, considerando las aguas en todas sus formas y los, ecosistemas naturales asociados, las cuencas hidrográficas que las contienen, los actores e intereses de los usuarios o usuarias, los diferentes niveles territoriales de gobierno y la política ambiental, de ordenación del territorio y de desarrollo socioeconómico del país.

Artículo 12.- El control y manejo de los cuerpos de agua se realizará mediante:

1. La clasificación de los cuerpos de agua o sectores de éstos, atendiendo a su calidad y usos actuales y potenciales.
2. El establecimiento de rangos y límites máximos de elementos contaminantes en afluentes líquidos generados por fuentes puntuales.
3. El 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 causa-efecto entre fuentes contaminantes y problemas de calidad de aguas, las alternativas para el control de los efluentes existentes y futuros, y las condiciones en que se permitirán sus vertidos, incluyendo los límites de descargas máxicas para cada fuente contaminante y las normas técnicas complementarias que se estimen necesarias para el control y manejo de los cuerpos de aguas.

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

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

### **3.4 Definición de términos básicos**

#### **3.4.1 Afluentes**

Corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que desemboca en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia. Ordoñez, J. (2011).

#### **3.4.2 Aliviadero**

Estructura por encima de la cual o a través de la cual el caudal es liberado durante las avenidas.

Si, por ejemplo, el caudal es controlado por medio de compuertas, se trata de un aliviadero con compuertas; en el caso contrario, se trata de un aliviadero de labio fijo (CIGB, 2015).

#### **3.4.3 Área del embalse**

Superficie cubierta por un embalse lleno (expresado en km<sup>2</sup>) (CIGB, 2015).

#### **3.4.4 Ataguía**

Estructura temporal realizada durante la construcción con el fin de que las obras definitivas pueda hacerse en seco. Una ataguía de desvío permite desviar un curso de agua a un conducto, un canal, un túnel (CIGB, 2015).

### **3.4.5 Auscultación**

Colocación de aparatos de medida instalados en una presa o cerca de ella para evaluar el comportamiento y los rendimientos de una estructura (CIGB, 2015).

### **3.4.6 Avenida**

Subida temporal de las aguas de un río o de un cauce como consecuencia de lluvias importantes en la cuenca vertiente. Conlleva la inundación de zonas habitualmente secas (CIGB, 2015).

### **3.4.7 Avenida de proyecto**

Avenida de cálculo utilizada para proceder al dimensionamiento de una presa y sus obras anejas tales como los aliviaderos y los órganos de desagüe y para determinar la capacidad máxima de almacenamiento, la altura de la presa y los resguardos necesarios (CIGB, 2015).

### **3.4.8 Caudal**

Es el volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en  $m^3 /s$ . (Chow, V. 1990).

### **3.4.9 Coronación**

Plano más alto de una presa de hormigón o mampostería.

### **3.4 10 Corte**

Vista de una presa como sección del interior en sentido perpendicular al eje (UDO, 2000).

### **3.4 11 Cuenca hidrográfica**

Zona drenada hasta un punto particular de un río o de un curso de agua (expresada en  $\text{km}^3$ ) (Chow, V. 1990).

### **3.4.12 Cuenca vertiente**

La cuenca de captación o cuenca vertiente es, para una presa, la zona situada aguas arriba de la presa (a menudo expresada en  $\text{km}^3$ ). Las precipitaciones que caen en la cuenca vertiente de una presa discurren y vierten hasta la presa (Chow, V. 1990).

### **3.4.13 Derivar**

Hacer ir en una dirección diferente (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.14 Desagüe de fondo**

Órgano de desagüe en la parte baja del embalse utilizado habitualmente para vaciar el embalse o evacuar los sedimentos y a veces para permitir el regadío (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.15 Distancia de resguardo**

Vertical entre el nivel máximo de un embalse y la altura de la presa (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.16 Erosión**

Deterioro progresivo de una superficie, sea un río, el lecho de un curso de agua, una riera o cualquier otra superficie provocado por el flujo del agua, las olas de los embalses, el viento o cualquier otro proceso natural (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4 17 Espesor de tongada del hormigón**

Espesor de las capas sucesivas de hormigón delimitadas por juntas de construcción horizontales (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4 18 Estabilidad**

Condición de una estructura que es capaz de soportar fuerzas y presiones instantáneas o de larga duración sin sufrir deformaciones significativas (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4 19 Evaporación**

Proceso de paso de un líquido al estado gaseoso o de vapor que se mezcla con el aire (Olivares, C. y De León, A. 1970).

#### **3.4.20 Longitud de la coronación de la presa.**

Longitud de la cima de la presa de una orilla a otra (Olivares, C. y De León, A. 1970).

#### **3.4.21 Márgenes del embalse**

Límites de la superficie del agua del embalse (Olivares, C. y De León, A. 1970).

#### **3.4.22 Nivel aguas abajo**

Nivel del agua que se encuentra inmediatamente aguas abajo de la presa. El nivel de aguas abajo varía según los caudales liberados desde la presa y según las influencias de las otras presas y estructuras situadas aguas abajo (Olivares, C. y De León, A. 1970).

#### **3.4.23 Nivel mínimo de explotación**

Nivel más bajo que puede alcanzar el embalse en condiciones normales de explotación; corresponde al nivel inferior de capacidad útil de embalsado (Olivares, C. y De León, A. 1970).

#### **3.4.24 Órgano de desagüe**

Abertura a través de la cual el agua puede ser liberada desde un embalse a un río (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.25 Pie de la presa**

Intersección del paramento aguas abajo con el terreno; se llama también “pie de aguas abajo”.

La intersección con el paramento aguas arriba se llama talón o pie de aguas arriba. fin de crear un embalse y controlar el caudal (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.26 Talud**

Inclinación en relación con un plano horizontal; pendiente mide la inclinación respecto a la vertical (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.27 Toma de agua**

Situada a la entrada de los órganos de desagüe, la toma de agua fija el nivel último de vaciado del embalse. Puede tratarse de torres verticales o inclinadas, o de estructuras sumergidas.

El nivel de las tomas está fijado según los caudales requeridos, teniendo en cuenta la sedimentación y el nivel deseado de vaciado (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4 28 Umbral de los aliviaderos**

Nivel inferior de los aliviaderos; corresponde al nivel mínimo del embalse que permite el paso del agua por los aliviaderos (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.29 Volumen activo**

Suma del volumen útil y del volumen inactivo (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.30 Volumen de control de avenidas**

Hecho de almacenar o de retardar las avenidas por medio de una operación planificada como en el caso de los embalses, o por el rellenado temporal de zonas inundables, como el hecho de hacer derivar agua en un canal de flujo natural (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.31 Volumen de la presa**

Volumen total de la estructura de la presa desde el nivel de cimentación a la coronación de la presa y del estribo derecho al estribo izquierdo (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.32 Volumen de nivelación**

Volumen de la franja por encima del volumen útil entre el nivel de embalse normal y el nivel máximo del agua (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4 33 Volumen del embalse**

Volumen de agua retenida y almacenada por la presa (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.34 Volumen inactivo**

Volumen entre el órgano de desagüe más bajo y el nivel mínimo de explotación (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.35 Volumen muerto**

Volumen de la capa de agua situada debajo de la toma de agua más baja y que, por tanto, no puede evacuarse del embalse excepto por bombeo (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.36 Volumen útil**

Volumen del embalse que está disponible para usos como la producción de energía, el regadío, el control de las avenidas, el suministro de agua... Su nivel más bajo del embalse es el nivel mínimo de explotación. Su nivel más alto es el nivel de embalse normal (Olivares, C. y De León, A. 1970).

### **3.4.37 Zona inundable**

Tierras próximas a un embalse o a un río que pueden ser cubiertas por el agua. Este término es igualmente utilizado para describir la zona aguas abajo que sería inundada o afectada por avenidas importantes, o en caso de rotura de la presa (Olivares, C. y De León, A. 1970).

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **4.1 Tipo de investigación**

Según Danhke, G., (1986):“Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así y valga la redundancia describir lo que se investiga”.

Este tipo de investigación es descriptiva porque buscamos determinar cualidades hidráulicas del río, sus características geomorfológicas, y rasgos texturales de los sedimentos del río Wará y del lecho del embalse Wará I.

#### **4.2 Diseño de investigación**

##### **4.2.1 Investigación documental**

Se afirma que la presente investigación posee un diseño documental ya que hace uso de informaciones documentales de investigaciones previas del área de estudio donde se describe y analiza diversos factores fisiográficos, geológicos, sedimentológicos, bióticos, climáticos entre otros de la zona de estudio.

### **4.2.2 Investigación de campo**

El diseño de la investigación es de campo y 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.

La presente investigación se considera de campo, ya que se realizará la recolección de datos en el lugar objeto de la investigación y porque se analizaron muestras de sedimentos que han sido tomadas en la cuenca media del cauce del río Wará y del embalse Wará I.

## **4.3 Población y muestra de la investigación**

### **4.3.1 Población de la investigación**

Balestrini, M., (2004) expresa que: “Estadísticamente hablando, por población se entiende un conjunto finito o infinito de personas, casos o elementos que representan características comunes.

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”. (P.137)

La población a ser considerada como objeto de estudio es todo el cuerpo de sedimentos del lecho del cauce de la cuenca media del río Wará y del fondo del embalse Wará I.

Asimismo, se considerará como parte de la población todas las características del relieve de la cuenca y del flujo del agua del río Wará.

### **4.3.2 Muestra de la investigación**

Según Balestrini, M. (2004), “La muestra es un subconjunto representativo de un universo o población”.

La muestra a utilizar será no probabilística, de carácter opinático, va a depender de la homogeneidad de los suelos existentes; sin embargo, se escogerán ocho (8) muestras en la cuenca media del cauce del río Wará, entre las represas Wará I y Wará II.

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

### **4.4.1 Técnicas de investigación**

Según Arias, F. (2006), las técnicas de recolección de datos son las distintas maneras de obtener información. Por otra parte, este autor plantea que las herramientas son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información.

Para este trabajo de grado se utilizaron técnicas de recolección de datos mencionadas a continuación:

a. La revisión bibliográfica: La cual permitió abordar el estudio en función de los objetivos planteados. Primeramente, se buscó información sobre diferentes tipos de gestión y planificación de varios proyectos de investigación, la cual justifica ampliamente la realización de este trabajo de grado. Para maximizar los resultados de este procedimiento se utilizaron a su vez técnicas operacionales como: subrayado, fichaje, notas de referencia bibliográfica, entre otras.

b. El fichaje: Esta técnica consiste en registrar los datos que se van obteniendo en la revisión bibliográfica, en fin, en las diferentes etapas y procesos que se van desarrollando. Esto nos permitió manejar la información de manera organizada y así maniobrar ideas de forma lógica. La información obtenida de los diferentes medios, se fue archivando mediante el uso de Microsoft Word, cumpliendo el papel de las llamadas fichas, con los correspondientes datos bibliográficos para posteriormente al utilizar la información poderla citar de una manera correcta y con mayor facilidad.

#### **4.4.2 Instrumentos de recolección de datos**

- a. Nivel Abney o clinómetro
- b. Cinta Métrica
- c. Brújula
- d. Jalón
- e. Nivel de burbuja
- f. GPS
- g. Pala
- h. Bolsas para muestras
- i. Equipo de computación
- j. Calculadora
- k. Programas de ofimática, Hec-Ras, Autocad, etc.

- l. Equipos de laboratorio para ensayos texturales de suelos
- m. Equipos de comunicación portátiles
- n. Vehículo doble tracción

#### **4.5 Flujograma de la metodología de trabajo.**

A fin de realizar la investigación con mayor eficiencia y cumplir con los objetivos propuestos para la propuesta de describir el movimiento de los sedimentos en la cuenca alta del río Wará, se plantean las siguientes actividades:

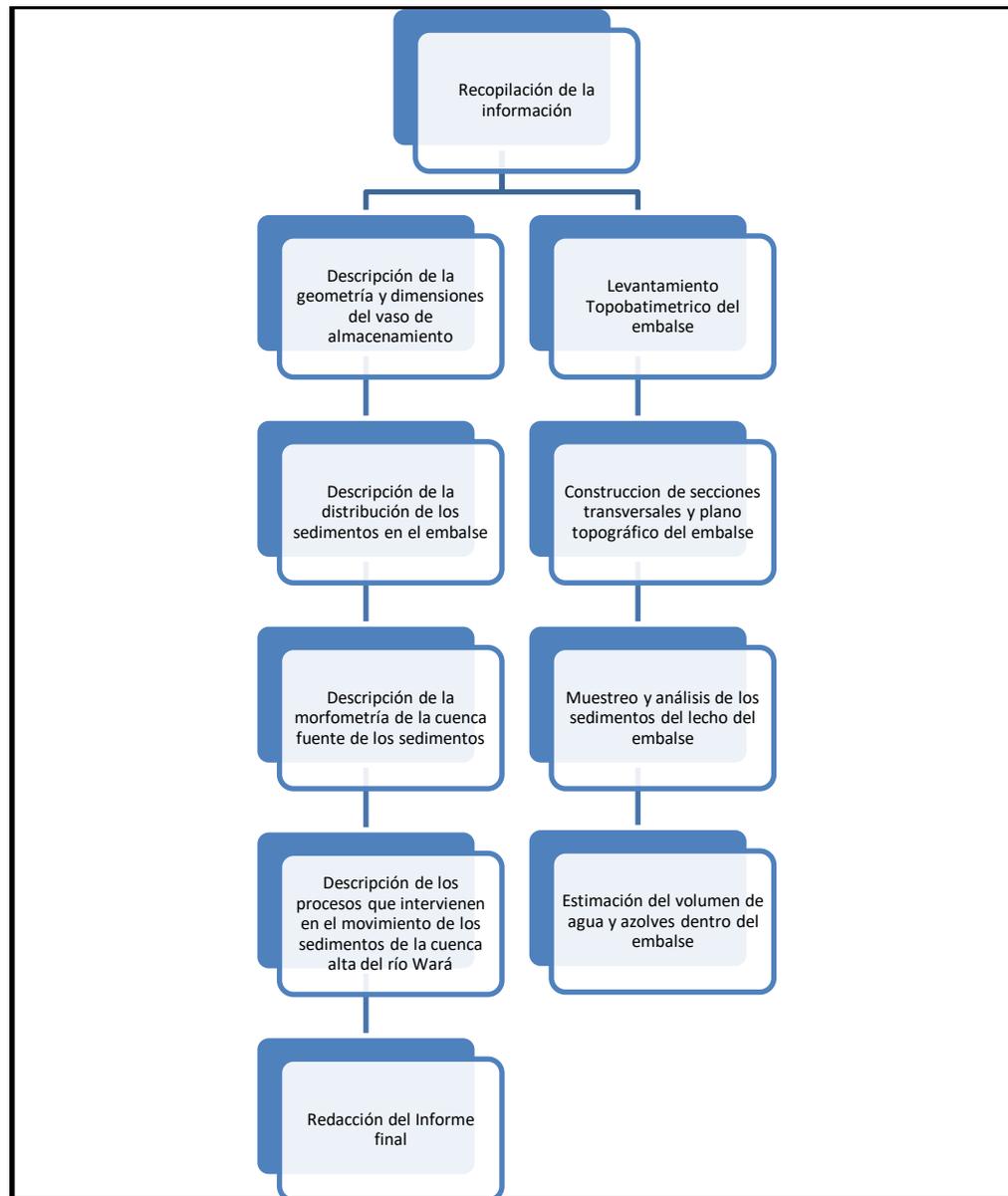


Figura 4.1 Flujo de la investigación.

#### 4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

A continuación, se describirá la metodología que ha sido esquematizada en el flujo de la investigación antes presentado.

#### **4.6.1 Recopilación de la información y reconocimiento de campo**

Esta actividad comprendió la recopilación y consulta de toda la información tanto bibliográfica como cartográfica existente del área de estudio, que sirve de base en la elaboración de la investigación.

En la parte bibliográfica fueron revisados trabajos de investigación y libros relacionados al tema de estudio, información extraída en la biblioteca de la Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar. Además de trabajos de investigación publicados en la web referentes a esta investigación.

En cuanto a la inspección en campo, esta se realiza para la selección del área definitiva de trabajo y la escogencia de la mejor estrategia para la ejecución de las actividades en campo.

#### **4.6.2 Geomorfología del área de estudio**

Se efectuará el reconocimiento en campo para la determinación de las geomorfología del embalse Wará I y de la cuenca media del río Wará. La descripción del vaso de almacenamiento se basará en la elaboración de un levantamiento topobatimétrico. Asimismo, con la ayuda de los programas Google Earth y Global Mapper se construirá un mapa topográfico de la cuenca media del río Wará, desde el embalse hasta su nacimiento.

#### **4.6.3 Descripción morfométrica de la cuenca**

A tal fin se efectuará la delimitación de la cuenca y se determinarán sus parámetros morfométricos que intervienen en su capacidad como fuente aportadora de agua y sedimentos.

Entre estos parámetros se encuentran, el área, perímetro, longitud axial, longitud del cauce, pendiente, factor forma, factor de compacidad, tiempo de concentración, entre otros.

#### **4.6.3.1 Delimitación de la cuenca y determinación de sus parámetros morfométricos**

La cuenca se delimitará en las imágenes de satélite Landsat del mes de abril de 2017 suministradas por Google Earth y a partir de esta delimitación se estimarán los parámetros morfométricos de dichas cuencas, definidos de la siguiente manera:

##### **4.6.3.2 Área**

Corresponde a toda la superficie drenada por la microcuenca, la cual intercepta el cauce principal en un punto de interés. Se mide en  $\text{km}^2$ .

##### **4.6.3.3 Perímetro**

Corresponde a la medida longitudinal en km de la línea divisoria o parteaguas.

##### **4.6.3.4 Longitud Axial**

Se expresa en km y es la distancia en línea recta medida desde la desembocadura del colector principal hasta el punto más alejado de la micro-cuenca.

##### **4.6.3.5 Longitud del Cauce**

Se refiere al recorrido en km del cauce principal de la micro-cuenca, desde su nacimiento hasta el punto de cierre. En el caso de que las cabeceras del cauce estén

fuera del área de estudio, esta longitud se referirá únicamente al recorrido localizado dentro del área.

#### 4.6.3.6 Factor Forma (Ff)

Es un índice de la tendencia de las crecientes de los ríos. Dos cuencas que tengan igual área y semejantes características fisiográficas e iguales condiciones de precipitaciones, pero factores formas diferentes, presentarán diferentes crecientes. La cuenca que presente un valor del factor forma cercano a 0,785 (Ff de cuenca circular), será más propensa a producir crecientes mayores (tabla 4.1).

$$Ff = A / (Lax)^2 \quad (4.1)$$

Donde

A : área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Lax : Longitud Axial (Km)

Tabla 4.1 Valores interpretativos del factor forma (Hegat, G. 2010).

Valores Aproximados	Forma de la Cuenca
> 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.300	Alargada
0.300 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.450	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente Ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 -1.20	Muy Ensanchada
> 1.200	Rodeando el Desagüe

#### 4.6.3.7 Coeficiente de Compacidad (Kc)

Consiste en comparar el perímetro de la cuenca receptora con el de un círculo que tuviera su misma superficie:

$$Kc = 0,282 (P/A^{1/2}) \dots\dots\dots(4.2)$$

Donde

P : Perímetro de la cuenca (km)

A : área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Kc siempre mayor que 1. Mientras mayor sea su valor, mayor será la irregularidad de la forma circular.

#### **4.6.3.8 Pendiente media del cauce principal (Sm)**

La pendiente de los ríos influye directamente sobre la velocidad de sus aguas, es una característica muy importante para analizar la respuesta de la cuenca.

El cálculo de la pendiente media del cauce principal se realizó utilizando la fórmula para cuencas relativamente llanas:

$$S_m = (H^M - H^m) / 1000 * L \quad (4.3)$$

Donde:

Sm : Pendiente media del cauce principal (m/km)

(HM - H<sup>m</sup>) es el desnivel del cauce principal (m)

L : Longitud del cauce principal (Km)

Tabla 4.2 Valores interpretativos de la pendiente de la cuenca (Hegat, G. 2010).

Pendiente media (%)	Terrenos
0-2	Llano
2-5	Suave
5-10	Accidentado medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
>50	Muy escarpado

#### 4.6.4 Características texturales de los sedimentos

A tal efecto, se tomarán muestras en el lecho del río Wará en su cuenca media y en las proximidades del dique. A dichas muestras se les practicarán análisis de distribución granulométrica, morfoscópicos y mineralógicos.

#### 4.6.5 Capacidad de arrastre de los flujos fluviales

Con base a la granulometría de las muestras y utilizando el modelo de Hjulstrum, se estimará la magnitud de los flujos que se han presentado dentro del cauce del río Wará que han sido capaces de transportar los sedimentos presentes en el lecho.

#### 4.6.6 Correlación de los sedimentos presentes

Se efectuará una correlación entre la granulometría de los sedimentos, forma de sus partículas, contenido mineralógico con respecto a la posición de recolección de las muestras (cuenca media del río Wará y cercanías del embalse Wará I).

## **CAPÍTULO V**

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

A continuación, se mostrarán los productos o informaciones generadas a partir de los datos obtenidos y procesados según la metodología planteada en el capítulo anterior.

#### **5.1 Geomorfología de la cuenca media del río Wará**

La micro-cuenca de Wará se encuentra emplazada en el paisaje de valle, el cual se caracteriza en la Región Hidrográfica del río Caroní (RHRC) por: Ocupar los espacios geográficos más deprimidos y bajos, frecuentemente asociados a cursos de agua que actúan como eje, lo que les confieren una forma alargada y relativamente plana presentan un escaso aporte aluvial de sedimentos (CVG-EDELCA, 2004, p. 83).

Dicho paisaje en el área de estudio, está compuesto, principalmente, por dos tipos de relieves: “las cuestas monoclinales de areniscas predominantes en pendientes mayores a 30% en los frentes de cuestas y menores a 15% en los dorsos y alterna con pequeños valles coluvio aluviales con una pendiente menor a 5%” (CVG-EDELCA, 1983).

El valle coluvio-aluvial está conformado por material transportado de origen coluvial y aluvial. Los materiales coluviales se presentan bajo la forma de glacis que descienden desde las cuestas monoclinales y se integran a la planicie aluvial (material aluvial) (CVG-EDELCA, 1983).

En la Figura 5.1 se presenta la ubicación relativa con respecto a la población de Santa Elena de Uairén.

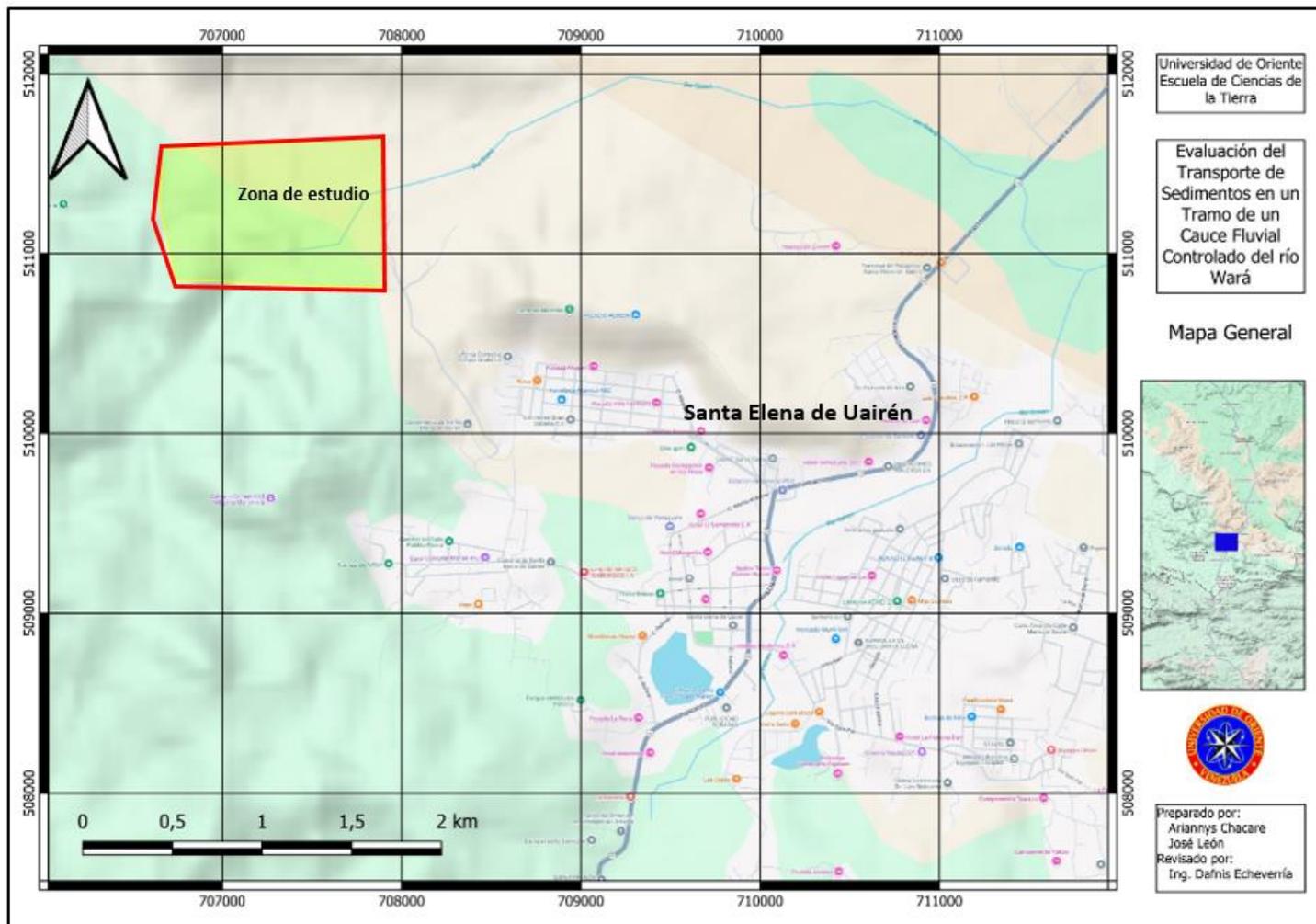


Figura 5.1 Ubicación del área de estudio al noroeste de Santa Elena de Uairén.

Cabe acotar, que las áreas inundables son aquellas que están sometidas al anegamiento permanente por los bajos valores de pendientes donde la infiltración domina sobre la escorrentía y corresponde al espacio de los morichales y la planicie aluvial, áreas susceptibles a la intervención antrópica.

El relieve del área en estudio está determinado y/o condicionado por la diversa gama de pendientes, las cuales se clasifican en: muy suaves, suaves, moderadas y fuertes.

A continuación, en la figura 5.1 se ilustra una aproximación a las pendientes del área de estudio:

- a. Las pendientes muy suaves de 0 a 3.5 % (0 a 2°) del área de estudio se ubican en las planicies aluviales y zonas anegadizas.
- b. Las suaves de 8 % (5°) corresponden, en gran medida, al área donde está asentada la población o en las faldas de las lomas.
- c. Las pendientes moderadas de 18% y 21% (10 ° y 12°) se ubican en las lomas de los cerros.
- d. Las más fuertes de 27 % (15°) se presentan en las crestas.

De acuerdo a la imagen mostrada y el recorrido en campo, pareciera predominar en Wará las pendientes moderadas y suaves. En la figura 5.2 se observa que la pendiente longitudinal máxima del río no supera 19%, mientras que en las figuras presentadas en los Apéndices B.1 y B.2 correspondientes a secciones transversales de la cuenca se presentan gradientes de 27%. En el siguiente mapa de pendientes obtenido a partir del modelo digital de elevación de la NASA (Apéndice C.1) procesado con el programa QGIS muestra que estas oscilan entre más de 24 grados y 0 grados.

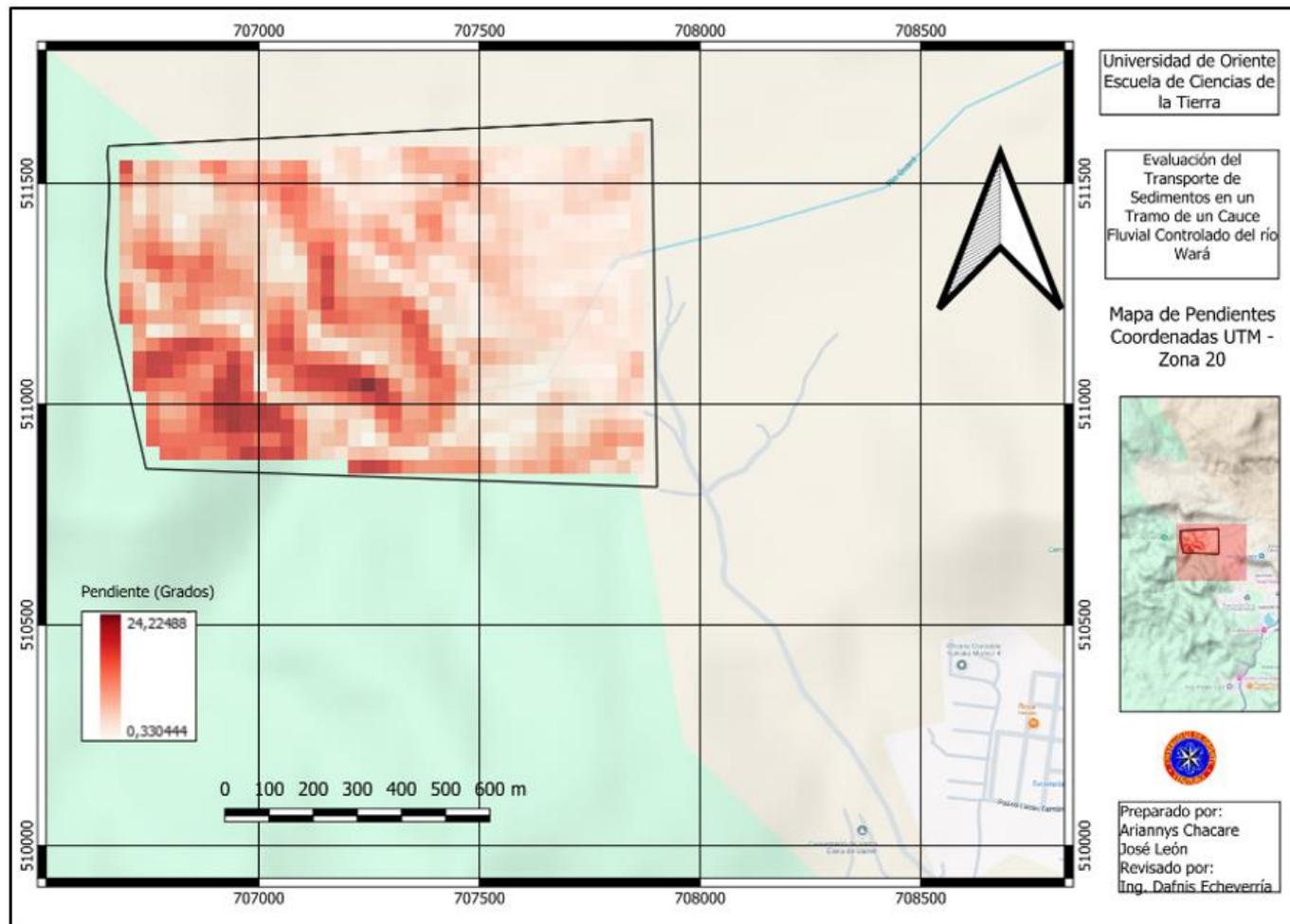


Figura 5.2 Mapa de pendientes a partir del modelo digital de elevación de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) procesado por el programa QGIS.

En el siguiente mapa de la CVG EDELCA (1983), se ratifican las magnitudes de las pendientes obtenidas del modelo digital de elevación de NASA utilizado por QGIS.

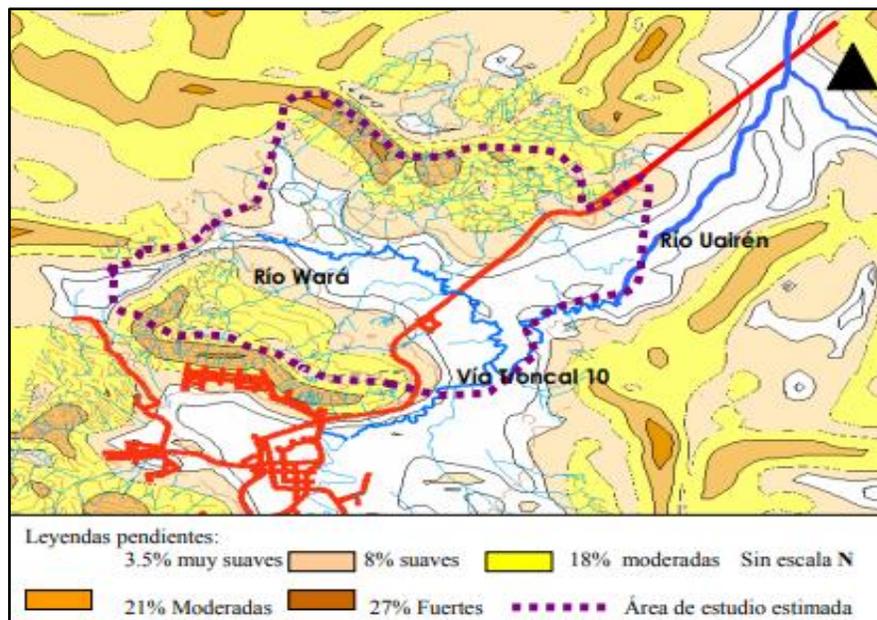


Figura 5.3 Pendientes de la cuenca del río Wará y sus alrededores (Figueroa, M. 2007 en CVG EDELCA, 1983).



Figura 5.4 Perfil longitudinal y trazado en planta de tramo de la cuenca media del río Wará (extraído de Google Earth Pro, 2024).

### 5.1.1 Morfometría de la cuenca media del río Wará

A continuación, se presenta la delimitación de la cuenca media del río Wará desde el embalse Wará II hasta el embalse Wará I (figura 5.3):

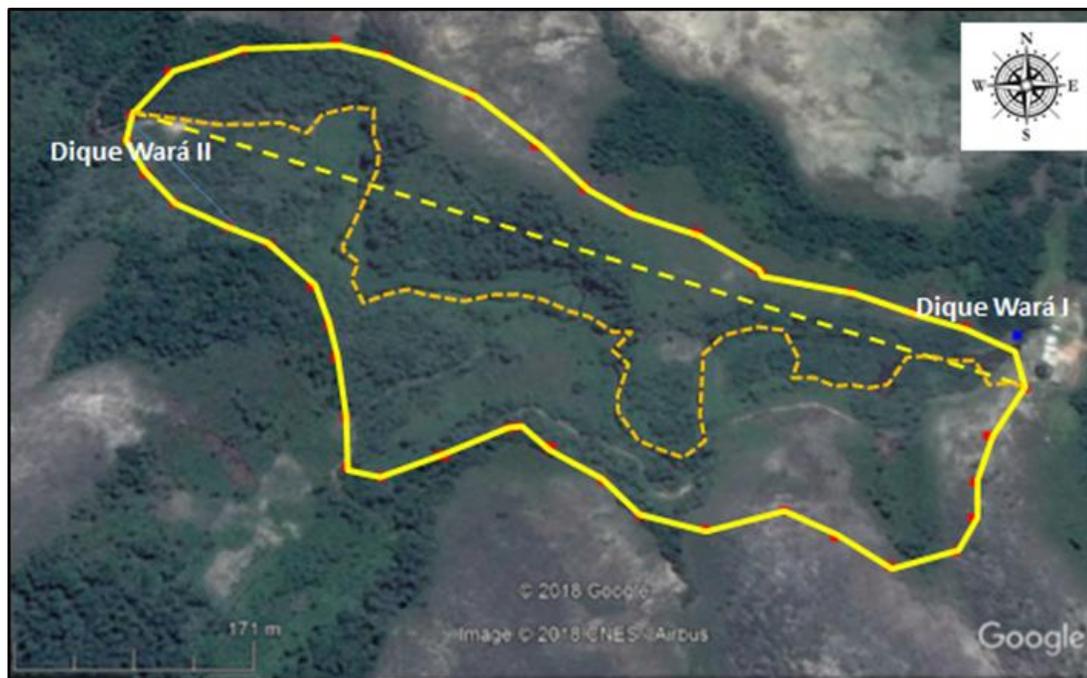


Figura 5.5 Cuenca media del río Wará (línea amarilla de trazo segmentado: cauce principal, línea recta trazo segmentado: eje axial, Línea amarilla de trazo continuo: límites de la cuenca).

Seguidamente, se presentan en la tabla 5.1 los parámetros morfométricos de la cuenca aportadora de escorrentías al embalse Wará I, calculados de acuerdo a las ecuaciones 4.1 a 4.3. Cabe destacar que el valor del factor forma y del índice de Gravelius indican una cuenca de forma muy alargada (escasamente aportadora de crecientes). Se puede inferir que estas circunstancias morfométricas parecieran presentar una cuenca moderadamente aportadora de sedimentos, es decir, movilizará sedimentos de acuerdo a la magnitud del caudal que logre con las precipitaciones.

Tabla 5.1 Parámetros morfométricos para la cuenca media del río Wará, entre las represas Wará II y Wará I.

Cuenca	Perímetro (Km)	Area (Km <sup>2</sup> )	Long. Cauce (Km)	Long. Axial (km)	Pendiente cauce principal (m/m)	Coef. Compac. (Kc)	Factor Forma (Ff)
Cuenca media de río Wará	2.42	0.248	1.52	0.9	0.0217	1.39	0.29

## 5.2 Características texturales de los sedimentos

Para llevar a cabo el presente objetivo específico de esta investigación, se decidió tomar cinco (5) muestras en el cauce de la cuenca media del río Wará y tres (3) muestras en el lecho del vaso de almacenamiento de la represa Wará I. Asimismo, se validarán éstos resultados con los análisis granulométricos de las muestras tomadas en el río Wará por Hernández y Gutiérrez, (2018).

### 5.2.1 Sedimentos del lecho del embalse Wará I

Con la finalidad de caracterizar los sedimentos presentes en el lecho del embalse de la represa Wará I, se tomaron tres (3) muestras de puntos elegidos bajo un criterio opinático de acuerdo a las coordenadas siguientes:

Tabla 5.2 Coordenadas de ubicación de muestras del lecho del embalse Wará I.

Muestra	Coordenadas UTM (Datum REGVEN, huso 20)	
	Este	Norte
E-1	707628	510958
E-2	707642	510966
E-3	707653	510972

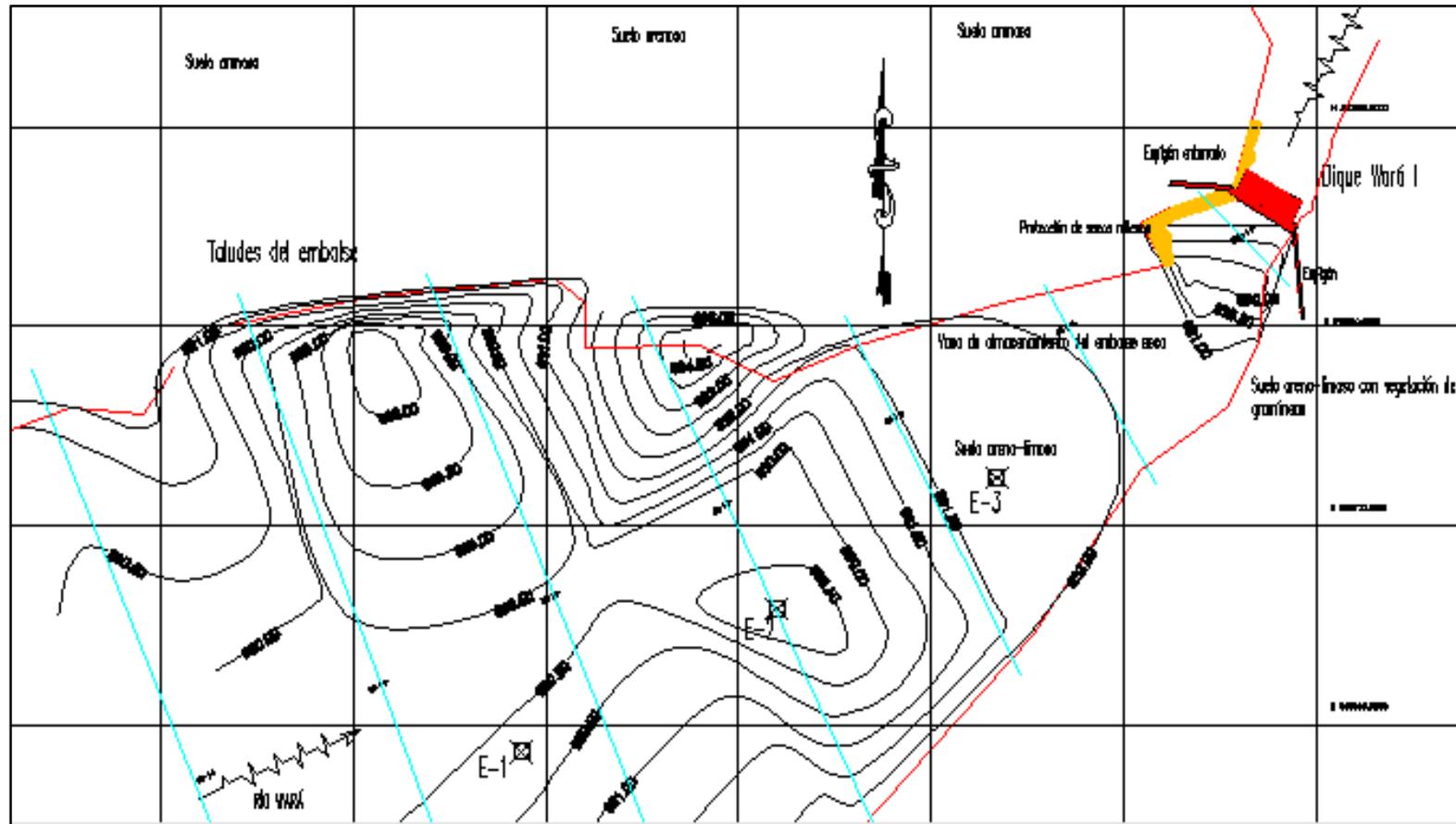


Figura 5.6 Ubicación de puntos de muestreo E-1, E-2 y E-3 en el croquis del embalse Wará I.

Las muestras fueron sometidas a análisis granulométrico y morfosκόpic en el Laboratorio de Suelos de la Empresa GeoLab de Boa Vista, Brasil. Arrojando los resultados que a continuación se muestran en las Figuras 5.7 a la 5.9 y apéndices A.6 a A.8 permite calificar a las muestras como arenas mal gradadas (SP) de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

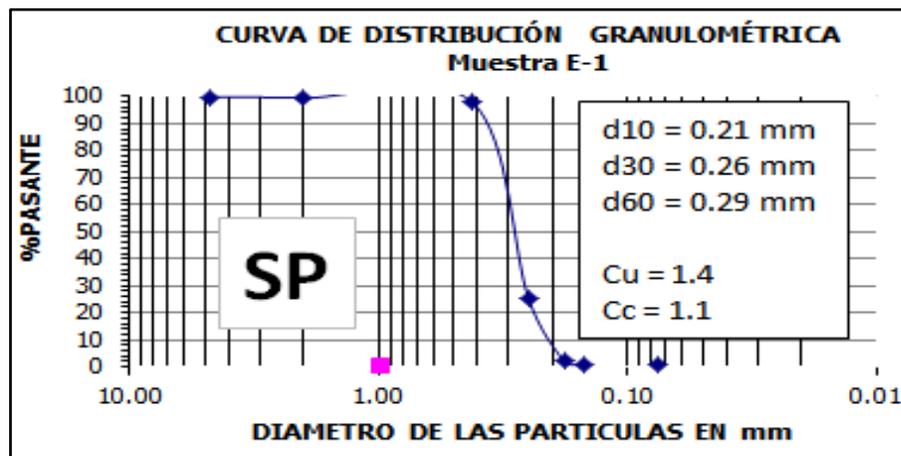


Figura 5.7 Curva granulométrica de la muestra E-1.

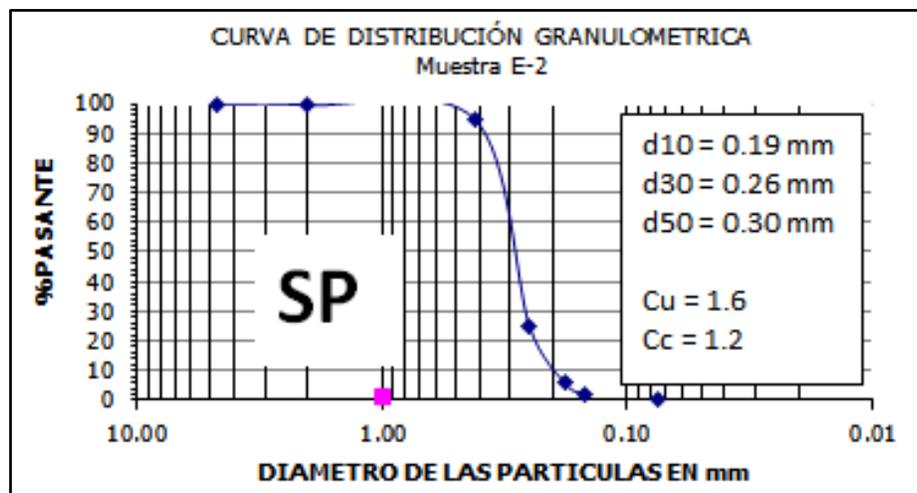


Figura 5.8 Curva granulométrica de la muestra E-2.

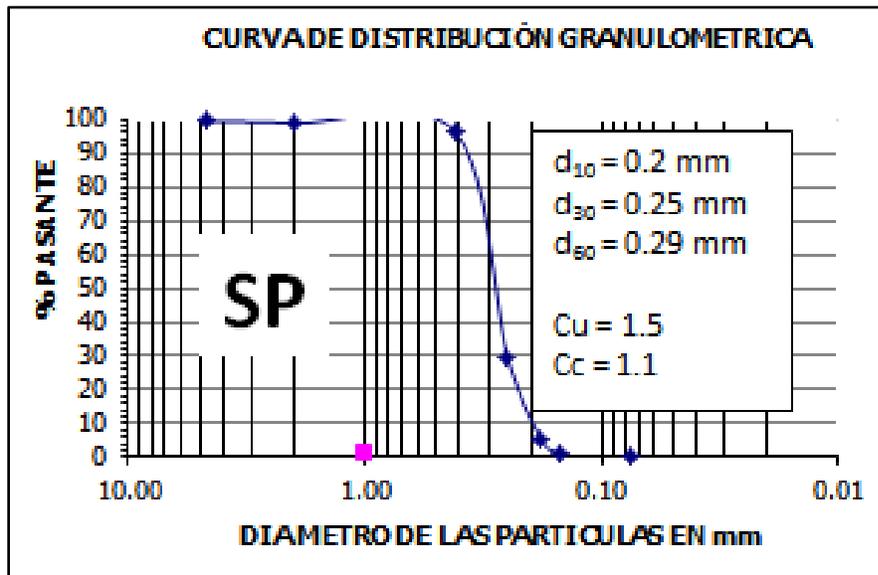


Figura 5.9 Curva granulométrica de la muestra E-3.

### 5.2.2 Sedimentos de la cuenca media del río Wará

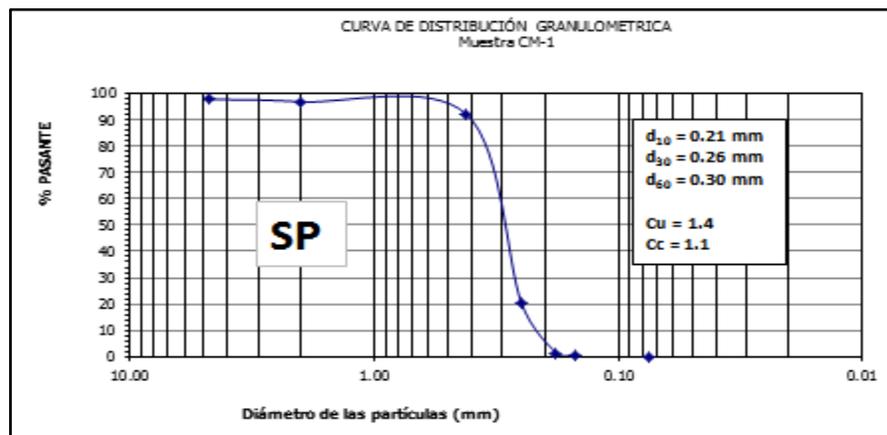
A tal efecto, se tomaron cinco (5) muestras en el centro del cauce del río Wará en su cuenca media, la cuales fueron posicionadas utilizando un GPS (marca Garmin), y se muestran sus coordenadas UTM (REGVEN) en la Tabla 5.3 y la Figura 5.10.

Tabla 5.3 Coordenadas UTM REGVEN de ubicación de muestras del lecho de la cuenca media del río Wará.

Muestra	Coordenadas UTM (Datum REGVEN, huso 20)	
	Norte	Este
CM-1	511330	706840
CM-2	511294	707055
CM-3	511253	707252
CM-4	511161	707417
CM-5	511104	707540



Los análisis granulométricos de las muestras presentadas en las Figuras 5.11 a la 5.15 se corresponden a cinco (5) muestras de arenas tomadas por el autor de este documento en el cauce de la cuenca media del río Wará, las cuales se correspondían de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) con arenas mal gradadas (SP).







### 5.2.3 Análisis morfoscópicos de las partículas

A tal efecto se realizaron el análisis de la forma de las partículas de las muestras tomadas por el autor de este documento en la cuenca media del cauce del río Wará y a las muestras captadas del lecho del embalse Wará I. El análisis de forma de las partículas se realizó utilizando lupas eléctricas en el Laboratorio de Contingencia de Hidráulica de la Universidad de Oriente.

En las Figuras 5.17 y 5.18 se presentan los resultados de los análisis morfoscópicos mencionados, los cuales presentaron formas subangulosas y subredondeadas en las muestras de la cuenca media del lecho del río Wará y en las muestras captadas en el lecho del embalse.

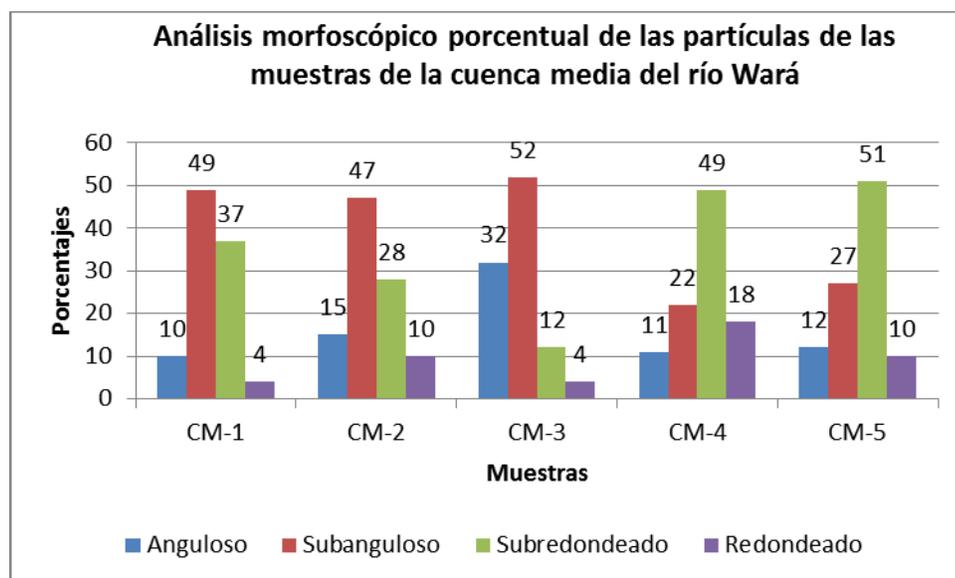


Figura 5.17 Análisis morfoscópico de las partículas de las muestras CM-1, CM-2, CM-3, CM-4 y CM-5 del lecho de la cuenca media del río Wará.

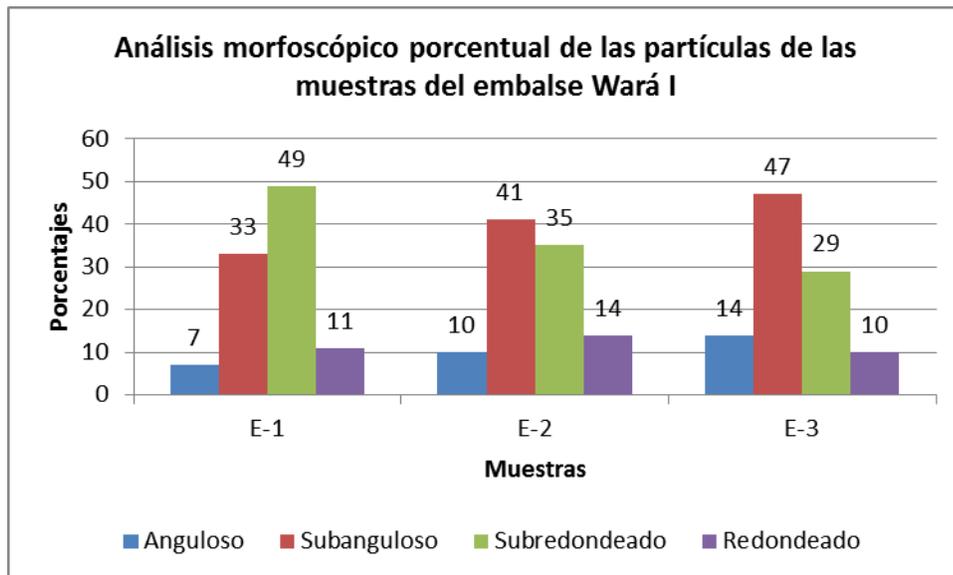


Figura 5.18 Análisis morfoscópico de las partículas de las muestras E-1, E-2 y E-3 del lecho del embalse Wará I.

### 5.3 Características del flujo del río Wará en su cuenca media

Para la determinación del flujo que aporta la cuenca media del río Wará se aplicará el método racional. En vista de ello, se procede a continuación a la estimación de los parámetros necesarios para el cálculo del caudal aportado por la cuenca, tales como: el coeficiente de escorrentía ponderado, el área de la cuenca y la intensidad de las precipitaciones.

#### 5.3.1 Coeficiente de escorrentía ponderado

Considerando la cobertura y uso del suelo en la cuenca y utilizando las tabulaciones (Tabla 5.4) de Aparicio (1999) se procedió a determinar los respectivos coeficientes de escorrentía ponderado.

Tabla 5.4 Coeficientes de escorrentía (Aparicio, 1999).

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía	
	Mínimo	Máximo
Zona comercial	0,70	0,95
Vecindarios, zonas 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 del 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

En ese orden de ideas, el coeficiente de escurrimiento ponderado para la cuenca media del río Wará se determina mediante relación de la sumatoria de los productos de las áreas parciales por sus respectivos coeficientes de escurrimiento entre la sumatoria total de las áreas (Tabla 5.5):

Tabla 5.5 Coeficiente de escurrimiento ponderado para la cuenca media del río Wará.

Uso del suelo	Área (A) (%)	Áreas (A) (Km <sup>2</sup> )	Coef. Escorrentía (C)	A x C	Coef. Escorrentía ponderado cuenca Wará I
Cultivos	3	0.007	0.50	0.0035	0.425
Bosque de galería	36	0.089	0.30	0.0267	
Gramíneas	32	0.080	0.40	0.032	
Suelo desnudo	29	0.072	0.60	0.0432	
$\Sigma =$	100.0	0.248		0.1054	

### 5.3.2 Determinación de la intensidad de las precipitaciones

Para la determinación de la intensidad de las precipitaciones se estimará en primer lugar el tiempo de concentración ( $T_c$ ) mediante la ecuación de *California Culvert Practices*

$$T_c = 0,0195(L^3/H)^{0,385} \quad (5.1)$$

En donde  $T_c$  es el tiempo de concentración en minutos,  $L$  la longitud en metros, desde el sitio de nacimiento del cauce en estudio hasta el sitio de considerado y  $H$  la diferencia de elevación en metros, entre el inicio del cauce principal y el sitio considerado. (Palacio, A. 2011).

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del tiempo de concentración para la cuenca:

Tabla 5.6 Estimación del tiempo de concentración.

Cuenca	Long. Cauce (m)	Cota inicio (m)	Cota final (m)	Diferencia altura (m)	Tiempo de concentración (min)
Media río Wará	1520	884	917	33	24

La intensidad de las precipitaciones se obtendrá utilizando la gráfica de Intensidad, Duración y Frecuencia de las precipitaciones, obtenida por el método de los valores extremos de Gumbel para la estación de Santa Elena de Uairén (Bolinaga, J. 1980), incluida en su texto “Drenaje Urbano” considerando períodos de retorno ( $T_r$ ) de 50 y 100 años (Figura 5.19).

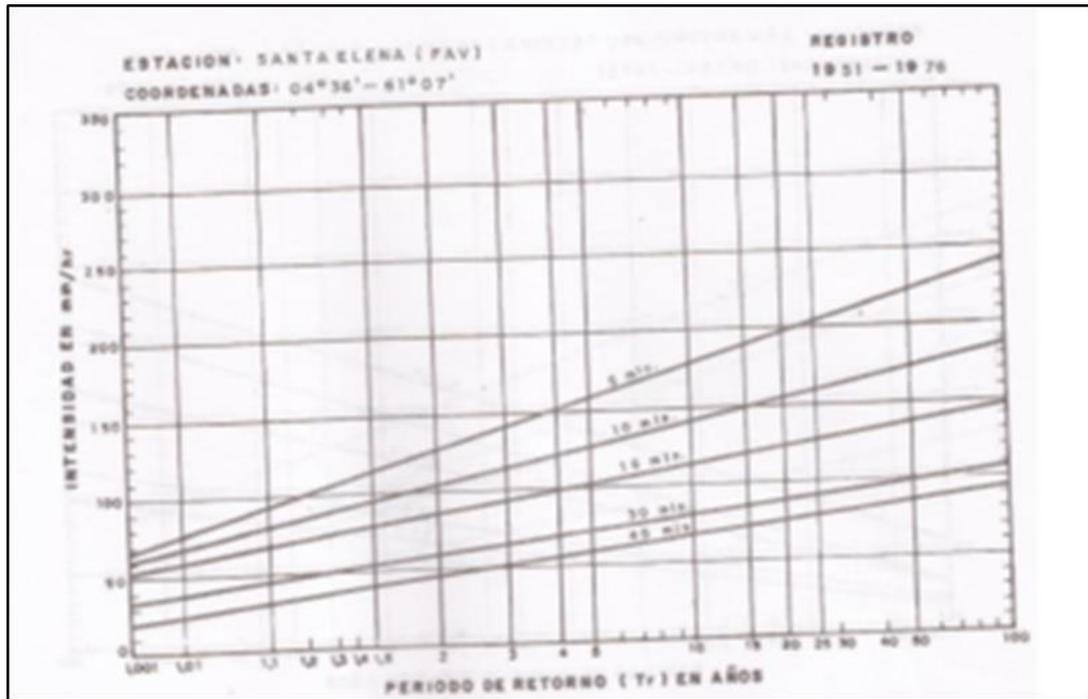


Figura 5.19 Gráfica IDF para Santa Elena de Uairén, período 1951-1976 (Bolinaga, J. 1979).

En ese orden de ideas, se presenta a continuación (Tabla 5.7) los valores de intensidad de precipitaciones extraídos de la gráfica anterior para la cuenca media del río Wará.

Tabla 5.7 Intensidad de precipitaciones para la cuenca media del río Wará y períodos de retorno de 50 y 100 años.

Cuenca	Tiempo de concentración (Tc) (min)	Período de retorno (Tr) (años)	Intensidad de precipitación (I) (mm/hr)
Media del río Wará	24	50	110
		100	120

La intensidad de las precipitaciones estimada de 110 mm/hr (305.8 lps/ha) y 120 mm/hr (333.6 lps/ha) para períodos de retorno de 50 y 100 años respectivamente.

### 5.3.3 Caudal aportado por la cuenca media del río Wará

El cálculo se hace utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_P = C \cdot I \cdot A_c / 360 \quad (5.2)$$

Donde:

$Q_P$ : gasto máximo en  $m^3/s$ ;

$I$ : intensidad de la lluvia en  $mm/hr$  para una duración igual al tiempo de concentración ( $T_C$ ) del área tributaria;

$A_c$ : área tributaria en hectáreas;

$C$ : coeficiente de escorrentía ponderado. (Bolinaga, J. 1979)

En ese sentido, tenemos los siguientes resultados:

Considerando un área de la cuenca media del río Wará I, la cual se estimó en 24 ha y un Tiempo de concentración ( $T_c$ ) de 24 min, se estima el caudal drenado (Tabla 5.8):

Tabla 5.8 Estimación del caudal aportado por la cuenca del embalse Wará I.

Período de retorno (Tr) (años)	Coficiente de escorrentía Ponderado (C)	Área tributaria (A) (ha)	Intensidad de la Lluvia (I) (mm/hr)	Caudal ( $m^3/s$ )	Caudal (l/s)
50	0.425	24	110	3.12	3120
100			120	3.4	3400

El caudal de drenaje de la cuenca para períodos de retorno de 50 años y 100 años sería de  $3.12 m^3/s$  (3120 lps) y  $3.40 m^3/s$  (3400 lps) respectivamente.

#### **5.4 Capacidad de arrastre de sedimentos del río Wará hasta el dique Wará I.**

La represa Wará I recibió la totalidad de los sedimentos que transportaba el río Wará durante sus primeras dos (2) décadas de operación; sin embargo, desde hace aproximadamente 10 años se construyó aguas arriba, la represa Wará II. Cabe destacar que la represa Wara II sirve desde su construcción como trampa de los sedimentos que provienen de la cuenca alta del río Wará; esta situación ha beneficiado a la represa Wará I debido a que con seguridad en la última década sufrió menos depositación de materiales en su vaso de almacenamiento que cualquier otra localidad de la cuenca. Romero, A. (2018) estimó que el embalse Wara I presentaba un volumen de azolves de 2565.50 m<sup>3</sup>

Considerando las características granulométricas de los materiales del lecho del río Wará se podría determinar los requerimientos del flujo para poner en movimiento tales materiales. En ese orden de ideas, se utilizará el método de Hjulström para la determinación de las velocidades de la corriente que se han debido producir para poner en movimiento los sedimentos.

Considerando las características granulométricas de los materiales muestreados por el autor de esta investigación (arenas mal gradadas), se presentan a continuación la Figura 5.20 en la que se deduce en el gráfico del modelo de Hjulström las velocidades que se requieren, y que de hecho se han producido, en el cauce para movilizar los materiales.

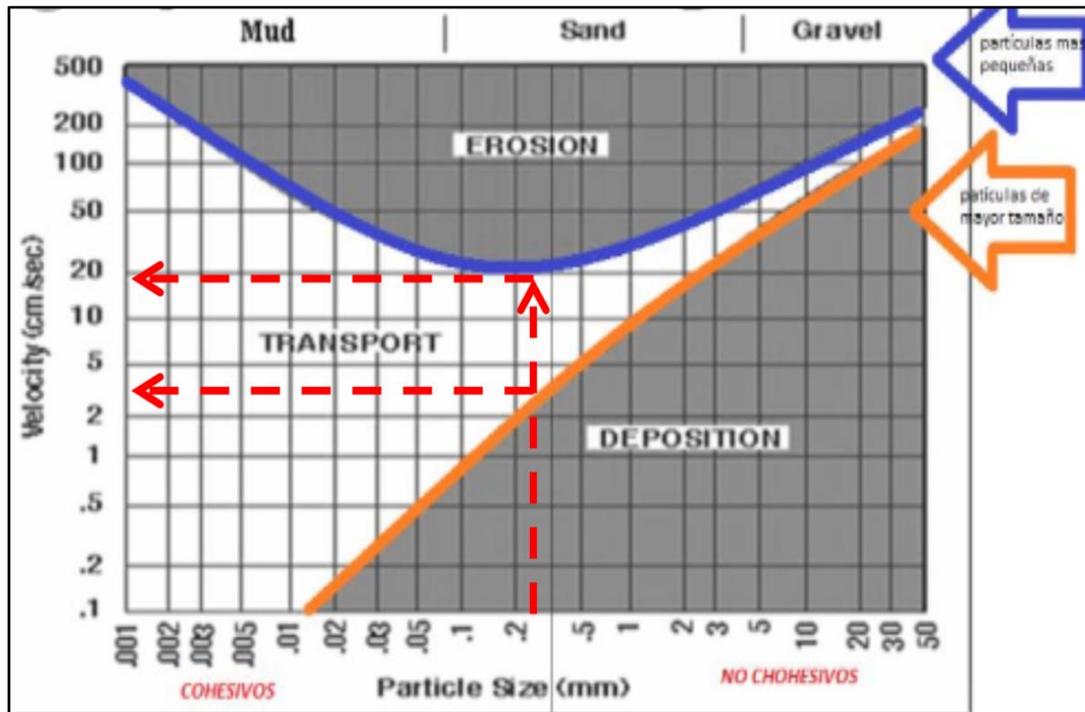


Figura 5.20 Modelo de Hjulström para las muestras de la cuenca media del río Wará y del lecho del embalse Wará I.

Con base a estos resultados, se ha determinado que la movilización o transporte de las arenas muestreadas ( $D_{50} = 0.28$  mm) en la cuenca media del río Wará y en el lecho del embalse Wará I amerita velocidades de flujo en el rango comprendido entre 3.5 cm/s y 19 cm/s.

Por otra parte, de acuerdo al modelo de Visher, considerando las similitudes en la distribución granulométrica de las muestras captadas en la zona de estudio, se decidió aplicar dicho modelo a una de las muestras (CM-3), obteniéndose que el mecanismo predominante para el transporte de los sedimentos era el de saltación (96% de los sedimentos) (Figura 5.21 y tabla 5.9).

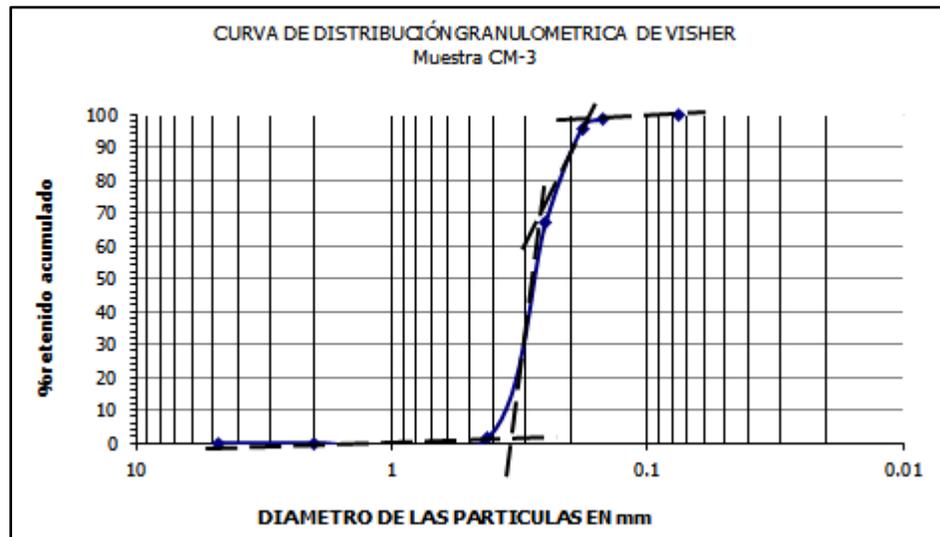


Figura 5.21 Distribución granulométrica según Visher de la muestra CM-3.

Tabla 5.9 Fracciones de la muestra CM-5 según el mecanismo de transporte.

Mecanismo de transporte	Rango de tamaño de la muestra (mm)	Porcentaje de la muestra (%)
Tracción	$4.80 > X > 0.45$	2
Saltación	$0.45 > X > 0.17$	96
Suspensión	$0.17 > X > 0.075$	2

### 5.5. Correlación de las características texturales de los sedimentos

La correlación de las distribuciones granulométricas y de los análisis morfoscópicos de las partículas efectuadas a las muestras captadas durante esta investigación en el cauce de la cuenca media del río Wará y de las tomadas en el lecho del embalse se encontró que presentaron todos como forma predominante las subangulosas y subredondeadas y se correspondieron con arenas mal gradadas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. La cuenca media del río Wará tiene un área aproximada de 24 ha. Asimismo, el tramo fluvial se orienta en sentido general noroeste–sureste desde el dique Wara II hacia el dique Wará I. La cuenca media del río Wará posee pendiente transversales de moderadas a altas en el orden de los 27 grados, mientras que su pendiente longitudinal tiene inclinaciones promedio máxima de 19 grados.

2. Los sedimentos de la cuenca media del lecho del río Wará se corresponden con arenas mal gradadas (SP) y cuyas partículas presentan formas de partículas predominantemente subangulosas a subredondeadas, lo cual permite inferir que han sufrido moderados a altos niveles de fricción durante su transporte desde sus orígenes. Los análisis texturales de este estudio se validan con los efectuados en las investigaciones de Romero, A. (2018) y de Hernández y Gutiérrez, (2019).

3. Considerando el modelo de Hjulström, la distribución granulométrica de los sedimentos presentes en el lecho de la cuenca media del río Wará correspondientes a arenas permite aseverar que los flujos fluviales han alcanzado velocidades aproximadas entre 3.5 y 9.5 cm/s lo cual se corresponde con las pendientes que presenta el cauce del río.

4. Las muestras tomadas durante esta investigación en el cauce de la cuenca media del río Wará y en el lecho propiamente dicho del vaso de almacenamiento, permiten aseverar que el mecanismo predominante que genera el movimiento del 96 % de los sedimentos ha sido el de saltación.

5. Dada la distribución granulométrica de los materiales del lecho, arenas mal gradadas en la cuenca media del río Wará, y en el vaso de almacenamiento de la represa Wará I, permite establecer una clara correlación granulométrica establecida probablemente la corta distancia del tramo de estudio y debido al moderado gradiente topográfico de la cuenca media.

6. Existe una relación congruente entre la forma de las partículas (subangulosas y subredondeadas) de las arenas mal gradadas presentes en la cuenca media con similares formas de las partículas de las muestras captadas cercanas al dique Wará I.

### **Recomendaciones**

1. Evaluar la posibilidad de explotación como agregados para la construcción de las arenas presentes en la cuenca media del río Wará.

2. Se recomienda realizar estudios del Flujo mineralógico en los sedimentos aguas abajo del embalse Wará II.

## REFERENCIAS

Abad, Daisy y Saavedra, Alvaro (2010). **MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS Y SOCAVACIÓN EN EL CAUCE, EN LAS RIBERAS Y AL PIE DE LOS PILARES DE FUNDACIÓN DE LA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA T4 UBICADA EN EL SECTOR EL TRONCÓN DEL RÍO ORINOCO, ESTADO GUÁRICO. VENEZUELA.** Tesis de Grado Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar, Pp 75 a 86.

Allen, P. (1965). **SEDIMENTOLOGY.** Editorial McGraw-Hill. New York

Arias, Fidias (1999). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: GUÍA PARA SU ELABORACIÓN.** Caracas: Episteme, C.A. (p 66)

Arias, F. (2006). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA.** (5º Edición). Episteme, Caracas, Venezuela.

Arias, Fidias. (2012) **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA.** Editorial Episteme, Caracas, Venezuela. (p 146).

Balestrini, M. (2004). **COMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.** Consultores Asociados, Caracas, Venezuela. pp 74

Autodesk, Inc. (2014) **AUTOCAD. USERS MANUAL.** New York

CVG Electrificación del Caroní, C.A. (C.V.G. EDELCA). (1983). **PLAN MAESTRO PARA LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ.** Puerto Ordaz. Venezuela.

CVG Electrificación del Caroní, C.A. (C.V.G. EDELCA). (2004). **LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ.** Puerto Ordaz. Venezuela.

CVG Electrificación del Caroní, C.A. (C.V.G. EDELCA). (2007). **PROGRAMA DE PARTICIPACIÓN COMUNITARIA.** Puerto Ordaz. Venezuela.

C.V.G Técnica Minera, C.A. (CVG-TECMIN) (1986). **INFORME DE AVANCE NC-20-14 Y NB-20-2 CLIMA, GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, SUELOS, VEGETACIÓN. GERENCIA DE PROYECTOS ESPECIALES**

**PROYECTO INVENTARIO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA REGIÓN GUAYANA.** Tomo I Y II. Ciudad Bolívar; (pp 9-489 Y 515-756)

CVG Técnica Minera C.A (CVG-TECMIN) (1989). **INFORME DE AVANCE NC 20 – 14 Y NC20 – 15, CLIMA, GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, SUELOS Y VEGETACION TOMO I, II, III.** Ciudad Bolívar, Venezuela. (pp. 185-203, 441-444, 453 – 461).

CVG Técnica Minera C.A (CVG-TECMIN) (2002). **INVENTARIO DE RECURSOS NATURALES DEL ESTADO BOLIVAR.** Puerto Ordaz.

CVG Técnica Minera C.A (CVG-TECMIN) (2007). **INFORME TÉCNICO DE RECURSO NATURALES.** Hoja NB-194 .Puerto Ordaz. Venezuela.

Chow, Ven Té (1990). **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS.** Mc Graw-Hill, Santa Fe, Bogotá, Colombia. 1ª Edición. pp. 10, 109

Danhke, G. (1986). **CLASIFICACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE INVESTIGACIÓN.** Barcelona.

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela (2007). **LEY DE AGUAS.** No 35595. Del 02-01-2007. Caracas.

García, O. (1981). **APUNTES DE SEDIMENTOLOGÍA.** Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

González, N. y Muñoz, A. (2018). **ANÁLISIS DEL FLUJO MINERALÓGICO A TRAVÉS DE UN TRAMO DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.** Puerto Ordaz.

Hegat, G. (2010). **HIDROLOGIA DE AGUAS SUPERFICIALES.** Universidad de los Andes. Mérida.

Herrera, L. (1986). **VENEZUELA SUS CUENCAS HIDROGRÁFICAS INTERNACIONALES.** Inédito. Caracas. Venezuela.

Hjulström, F. (1935). **LA ACTIVIDAD MORFOLÓGICA DE LOS RÍOS ILUSTRADO POR RIVER FYRIS.** Boletín del Instituto Geológico, Uppsala, vol. 25, cap. 3.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2017). **REGISTRO DE VARIABLES HIDROCLIMÁTICAS**. www. Inameh.gob.ve. fecha de consulta: 17 abril de 2017.

Linares, B. y Rodríguez, C. (2018). **CARACTERIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS AZOLVES ALMACENADOS EN EL EMBALSE DE LA REPRESA WARÁ II EN EL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar. Pp. 15, 37, 72,73 y 84

Maza J y. García, M (2011). **MANUAL DE INGENIERÍA DE RÍOS**. México. Pp 111, 258, 531

Olivares, C. y De León, A. (1970). **PRESAS Y EMBALSES**. CIDIAT. Mérida.

Pettijonh, F. (1970). **ROCAS SEDIMENTARIAS**. Editorial Eudeba. Tercera Edición, Buenos Aires, Argentina.

Pettijonh, F. (1980). **ROCAS SEDIMENTARIAS**. Editorial Eudeba. Tercera Edición, Buenos Aires, Argentina. Pp 71, 72, 138, 139.

Reineck, H. y I. Sing. (1981). **DEPOSITIONAL SEDIMENTARY ENVIRONMENTS**. Berlin Springer – Verlag. Pp 185 – 201. Pp 439.

Russel y Taylor, D. (1937). **CLASIFICACIÓN DE LAS FRACTURAS**. Massachusetts Institute of Technology (MIT). Boston.

Sánchez, M (2014), **GASTO DOMINANTE DEL RIO LA CANOA Y SU INFLUENCIA EN LA GEOMORFOLOGIA DEL CAUCE, LA CANOA, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÀTEGUI, VENEZUELA**. Trabajo de Grado, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.

Tamayo y Tamayo, M. (2006). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. 4ta edición, 3era reimpresión. Editorial Limusa. México, pp 64-82.

Universidad de Oriente (UDO) (2000). **GUIA DE PRÁCTICAS DE SEDIMENTOLOGÍA**. Escuela de Ciencias de la Tierra. Departamento de Geología. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1980) **HEC-RAS. GUIDE REFERENCE**. Washington.

Visher, G. (1969) **GRAIN SIZE DISTRIBUTIONS AND DEPOSITIONAL PROCESSES**. Vol. 3 Pp 1074 – 1106.

## **APÉNDICES**

**APÉNDICE A**  
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DEL LECHO DE LA CUENCA**  
**MEDIA DEL RÍO WARÁ Y DEL EMBALSE WARÁ I**

**IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA:** CM-1  
**UBICACIÓN:** CUENCA MEDIA RIO WARA

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.7500	747.20	757.40	10.20	2.04	2.04	97.96
10	2.0000	643.20	648.20	5.00	1.00	3.04	96.96
40	0.4193	566.20	590.10	23.90	4.78	7.82	92.18
60	0.2500	512.00	871.20	359.20	71.84	79.66	20.34
80	0.1800	515.00	609.40	94.40	18.88	98.54	1.46
100	0.1500	395.60	400.70	5.10	1.02	99.56	0.44
200	0.0750	482.30	484.10	1.80	0.36	99.92	0.08
PAN	0.0000	483.60	483.80	0.20	0.04	99.96	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	499.80	<b>99.96</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500.00			
			%ERROR	<b>0.04</b>			

A.1 Análisis granulométrico de las muestra CM-1 del lecho de la cuenca media del río Wará.

**IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA:** CM-2  
**UBICACIÓN:** CUENCA MEDIA RIO WARA

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.75	747.2	748.5	1.3	0.26	0.26	99.74
10	2	643.2	647	3.8	0.76	1.02	98.98
40	0.41931	566.2	624.1	57.9	11.58	12.60	87.40
60	0.25	512	844.7	332.7	66.54	79.14	20.86
80	0.18	515	611	96	19.20	98.34	1.66
100	0.15	395.6	400.6	5	1.00	99.34	0.66
200	0.075	482.3	484.2	1.9	0.38	99.72	0.28
PAN	0	483.6	483.7	0.1	0.02	99.74	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	498.70	<b>99.74</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500.00			
			%ERROR	<b>0.26</b>			

A.2 Análisis granulométrico de las muestra CM-2 del lecho de la cuenca media del río Wará.

**IDENTIFICACIÓN MUESTRA:** CM-3  
**UBICACIÓN:** CUENCA MEDIA RIO WARA

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.75	747.20	748.90	1.70	0.34	0.34	99.66
10	2.00	643.20	647.40	4.20	0.84	1.18	98.82
40	0.42	566.20	619.50	53.30	10.66	11.84	88.16
60	0.25	512.00	812.10	300.10	60.02	71.86	28.14
80	0.18	515.00	639.40	124.40	24.88	96.74	3.26
100	0.15	395.60	409.30	13.70	2.74	99.48	0.52
200	0.08	482.30	483.20	0.90	0.18	99.66	0.34
PAN	0.00	483.60	483.80	0.20	0.04	99.70	0.00
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	498.50	<b>99.70</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500.00			
			%ERROR	<b>0.30</b>			

A.3 Análisis granulométrico de las muestra CM-3 del lecho de la cuenca media del río Wará.

**IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA: CM-4****UBICACIÓN:** CUENCA MEDIA RIO WARA

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.75	747.2	747.2	0	0.00	0.00	100.00
10	2	643.2	644.7	1.5	0.30	0.30	99.70
40	0.41931	566.2	585.3	19.1	3.82	4.12	95.88
60	0.25	512	897.9	385.9	77.18	81.30	18.70
80	0.18	515	602.2	87.2	17.44	98.74	1.26
100	0.15	395.6	400	4.4	0.88	99.62	0.38
200	0.075	482.3	484.5	2.2	0.44	100.06	-0.06
PAN	0	483.6	483.8	0.2	0.04	100.10	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	500.50	<b>100.10</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500.00			
			%ERROR	<b>-0.10</b>			

A.4 Análisis granulométrico de la muestra CM-4 de la cuenca media del río Wará.

**IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA: CM-5****UBICACIÓN:** CUENCA MEDIA RIO WARA

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
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
80	0.1800	515.00	568.10	53.10	10.62	96.02	3.98
100	0.1500	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			
			%ERROR	<b>-0.02</b>			

A.5 Análisis granulométrico de la muestra CM-5 de la cuenca media del río Wará.

**IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA: E-1****UBICACIÓN:** CUENCA MEDIA RIO WARA

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.75	747.20	747.90	0.70	0.14	0.14	99.86
10	2.00	643.20	645.10	1.90	0.38	0.52	99.48
40	0.42	566.20	574.50	8.30	1.66	2.18	97.82
60	0.25	512.00	875.00	363.00	72.60	74.78	25.22
80	0.18	515.00	630.00	115.00	23.00	97.78	2.22
100	0.15	395.60	401.10	5.50	1.10	98.88	1.12
200	0.08	482.30	484.50	2.20	0.44	99.32	0.68
PAN	0.00	483.60	484.10	0.50	0.10	99.42	0
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	497.10	<b>99.42</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500.00			
			%ERROR	<b>0.58</b>			

A.6 Análisis granulométrico de la muestra E-1 del embalse Wará I.

**IDENTIFICACIÓN MUESTRA: E-2****UBICACIÓN:** CUENCA MEDIA RIO WARA

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.75	747.20	747.20	0.00	0.00	0.00	100.00
10	2.00	643.20	645.50	2.30	0.46	0.46	99.54
40	0.42	566.20	589.70	23.50	4.70	5.16	94.84
60	0.25	512.00	862.90	350.90	70.18	75.34	24.66
<b>80</b>	<b>0.18</b>	515.00	608.80	93.80	18.76	94.10	5.90
<b>100</b>	<b>0.15</b>	395.60	413.50	17.90	3.58	97.68	2.32
200	0.08	482.30	491.70	9.40	1.88	99.56	0.44
PAN	0.00	483.60	484.70	1.10	0.22	99.78	0.00
			<b>0</b>	498.90	<b>99.78</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500.00			
			%ERROR	<b>0.22</b>			

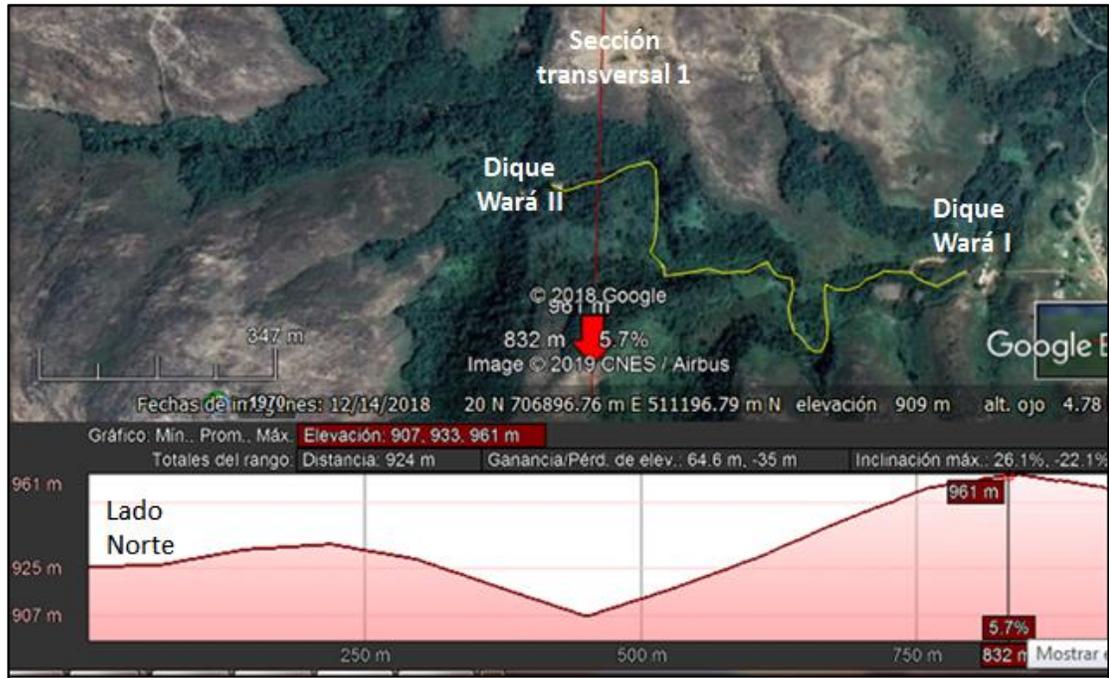
## A.7 Análisis granulométrico de la muestra E-2 del embalse Wará I.

**IDENTIFICACIÓN MUESTRA: E-3****UBICACIÓN:** CUENCA MEDIA RIO WARA

Tamiz (nº)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.75	747.20	749.40	2.20	0.44	0.44	99.56
10	2.00	643.20	646.30	3.10	0.62	1.06	98.94
40	0.42	566.20	578.60	12.40	2.48	3.54	96.46
60	0.25	512.00	845.80	333.80	66.76	70.30	29.70
<b>80</b>	<b>0.18</b>	515.00	637.20	122.20	24.44	94.74	5.26
<b>100</b>	<b>0.15</b>	395.60	415.50	19.90	3.98	98.72	1.28
200	0.08	482.30	486.70	4.40	0.88	99.60	0.40
PAN	0.00	483.60	483.70	0.10	0.02	99.62	0.00
			<b>Peso Suelo Final(gr)</b>	498.10	<b>99.62</b>		
			<b>Peso Suelo inicial(gr)</b>	500.00			
			%ERROR	<b>0.38</b>			

## A.8 Análisis granulométrico de la muestra E-3 del embalse Wará I.

**APÉNDICE B**  
**SECCIONES TRANSVERSALES A LA CUENCA**  
**MEDIA DEL RÍO WARÁ**

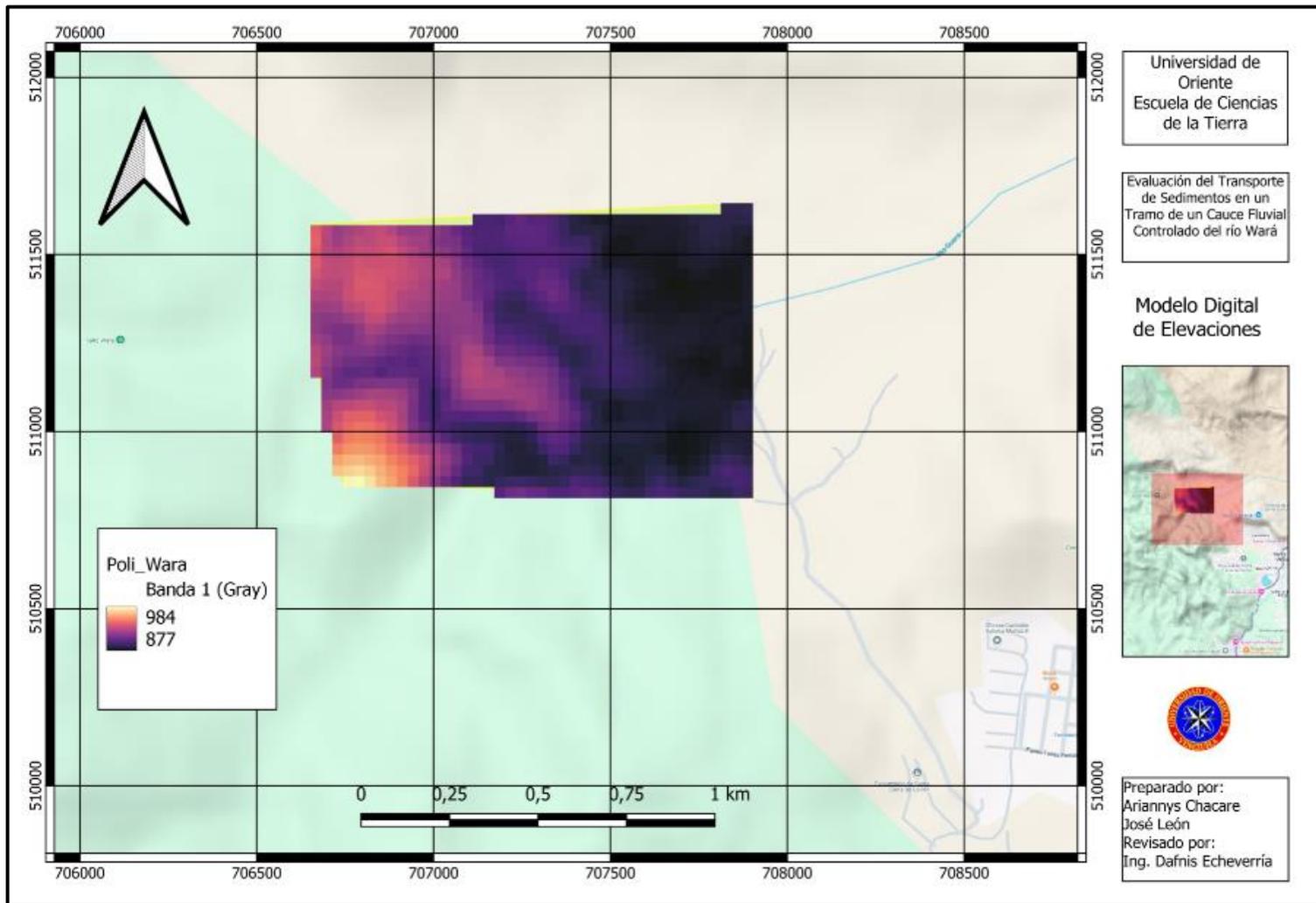


B.1 Perfil transversal 1 de la cuenca media del río Wará en imagen satelital Landsat/Copernicus del 14/06/2024.



B.2 Perfil transversal 2 de la cuenca media del río Wará en imagen satelital Landsat/Copernicus del 14/06/2024.

**APÉNDICE C**  
**MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DE LA CUENCA MEDIA**  
**DEL RÍO WARÁ**



C.1 Modelo digital de elevación de NASA para la cuenca media del río Wará.

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

<b>Título</b>	Evaluación del transporte de sedimentos en un tramo de un cauce fluvial de flujo controlado en el río Wará, Municipio Gran Sabana, Estado Bolívar, Venezuela
<b>Subtítulo</b>	

**Autor(es)**

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código ORCID / e-mail</b>	
Chacare Fayola Ariannys Nahomys	<b>ORCID</b>	
	<b>e-mail</b>	chacareariannys3@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
León González José Virgilio Junior	<b>ORCID</b>	
	<b>e-mail</b>	josevirgilioleongonzalez@gmail.com
	<b>e-mail</b>	

**Palabras o frases claves:**

transporte de sedimentos en ríos
río wará
sedimentación en embalses
cauces fluviales
tesis de grado

**Líneas y sublíneas de investigación:**

<b>Área</b>	<b>Subárea</b>
Hidráulica Fluvial	Mecánica de sedimentación
	Movimiento de sedimentos
<b>Línea de investigación:</b>	

**Resumen (abstract):**

**Resumen**

La presente investigación se desarrolló en el lecho de la cuenca media del río Wará, en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar. El objetivo del estudio es realizar un análisis de las características que tienen los sedimentos del lecho en un tramo de flujo controlado de la cuenca media del río Wará y su incidencia en los azolves presentes en el embalse Wará I. Para el desarrollo de este objetivo se aplicó una metodología de investigación de tipo descriptiva con un diseño de campo y documental. Para el logro de la investigación se realiza un reconocimiento del área de estudio; luego, se construyó un plano topográfico, con base a la información topo-batimétrica del área de estudio, que permitirán describir geomorfológicamente dicha zona. Se realizó la caracterización textural de cinco (5) muestras tomadas en el cauce de la cuenca media del río Wará y de tres (3) muestras de los suelos del lecho del embalse de las áreas del vaso de almacenamiento donde se observa acumulación de azolves. Se efectuó la comparación textural entre las muestras captadas. Entre los resultados relevantes se concluyó que los azolves acumulados en el interior del embalse guardan relación textural con las muestras tomadas en el cauce del río Wará en su cuenca media. Por otro lado, todas las muestras tomadas en el lecho de la cuenca media del río Wará corresponden a arenas mal gradadas (SP) y asimismo, la distribución granulométrica de los azolves presentes en el vaso de almacenamiento se corresponden con igual tipo de materiales (arenas mal gradadas, SP). La morfoscopía de las partículas de las muestras de la cuenca media y las cercanas al embalse son predominantemente subangulosas y subredondeadas. De acuerdo al modelo de Visher, los mecanismos de transporte de sedimentos que se presume coadyuvaron al desplazamiento de los sedimentos desde la cuenca media del río Wará hasta la represa Wará I, fue el de saltación y según el modelo de Hjulström, para el transporte de las partículas se requería una velocidad media del flujo entre 3.5 y 19 cm/s

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

**Contribuidores:**

Apellidos y Nombres	ROL / Código ORCID / e-mail	
<b>Echeverría Díaz Dafnis José</b>	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	
	<b>e-mail</b>	dafnisecheverria2807@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
<b>Echeverría Coa Beatriz Carolina</b>	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	
	<b>e-mail</b>	beitacaro92@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
<b>España Rodríguez Juan Carlos</b>	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	
	<b>e-mail</b>	@gmail.com
	<b>e-mail</b>	

**Fecha de discusión y aprobación:**

Año	Mes	Día
2024	10	

**Lenguaje:** spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

**Archivo(s):**

<b>Nombre de archivo:</b>
NBOTTG_CFAN2024

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:** Cuenca media del río Wará, municipio (Opcional)  
Gran Sabana, estado Bolívar, Venezuela.

**Temporal:** Año 2024 (Opcional)

**Título o Grado asociado con el trabajo:** Ingeniero Geólogo y Geólogo

**Nivel Asociado con el Trabajo:** Pregrado

**Área de Estudio:** Mecánica de sedimentación

**Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:** Universidad de Oriente



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°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.



Publicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Confidencialmente,

**JUAN A. BOLANOS CUNDELA**  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Niveles, 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.

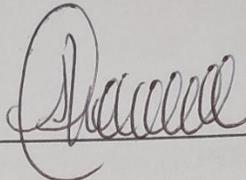
JABC/YOC/manja

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

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

**Derechos:**

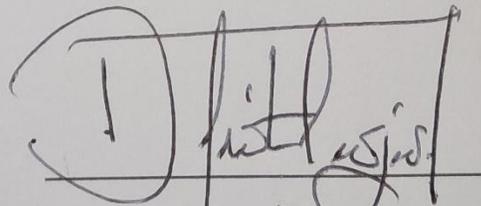
Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): “Los Trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y sólo podrán ser utilizadas a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”



**Ariannys Nahomys Chacare Fayola**  
**AUTORA**



**José Virgilio Junior León González**  
**AUTOR**



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



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

**CONSTANCIA DE CONFORMIDAD DE TUTORIA**

A través de la presente hago de su conocimiento que el trabajo de grado intitulado **“EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN UN TRAMO DE UN CAUCE FLUVIAL DE FLUJO CONTROLADO EN EL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.”**, el cual fue desarrollado por los bachilleres **ARIANNYS NAHOMYS CHACARE FAYOLA** de cédula de identidad No **26.355.377** y **JOSÉ VIRGILIO JUNIOR LEÓN GONZÁLEZ** de cédula de identidad No. **23.551.259**, doy fe de que se encuentra en condiciones para que sea expuesto y defendido por sus autores.

Sin otro particular

Atentamente.

**Prof. Dafnis Echeverría**  
**Asesor académico**