

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



**ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS DE LA
CUENCA ALTA DEL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA,
ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR EL BACHILLER
ROJAS R., KENRRY
J.M.PARA OPTAR AL
TÍTULO DE GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, DICIEMBRE DE 2018



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: **“ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.”**, presentado por el bachiller **KENRRY J. M. ROJAS R.** decédula de identidad No **21.109.520**; como requisito parcial para optar al título de **GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

Nombre:

Firma:

Prof. Dafnis Echeverría

(Asesor)

Prof. Beatriz Echeverría

(Jurado)

Prof. Francisco Monteverde

(Jurado)

Prof(a). Rosario Rivadulla. Prof. Francisco Monteverde
Jefe de Dpto. de Geología. Director Escuela de Ciencias de la Tierra

En Ciudad Bolívar, a los días del mes de Diciembre de 2018

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado primeramente a Dios, por haberme guiado durante toda mi carrera y permitirme culminarla. Igualmente, a mis padres Milagros Rodríguez y Henry Rojas y mi hermano Jhoam Oropeza, quienes han estado siempre a mi lado, han sido mi fuerza mi apoyo y mi motivación en momentos difíciles y de felicidad en el logro de esta meta trazada en mi vida.

A mis amigos Alejandro Salazar, Ángel Sánchez, Reinie rGómez, Yukleysi Diaz. Kleysimar Diaz, Junior Yeguez, Franklin Guzmán y Roxana Sanchez que formaron parte de este logro durante toda la carrera por brindarme su cariño, comprensión y sobre todo su apoyo incondicional.

KENRRY J.M. ROJAS R

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi DIOS por toda la sabiduría el amor la fe y la esperanza; ya que me ha bendecido durante toda esta trayectoria; y me ha brindado toda la fuerza, el conocimiento y la inteligencia, para culminar con esta etapa de vida.

Les agradezco de todo corazón a mis padres y hermano por apoyarme totalmente en esta etapa con sus consejos, su apoyo económico y ayuda incondicional, y a toda mi familia por estar pendiente de mí y estar apoyándome siempre.

A mis amigos Alejandro Salazar, Ángel Sánchez, Reinier Gómez, Yukleysi Díaz. Kleysimar Díaz, Junior Yeguez, Franklin Guzmán y Roxana Sanchez que son muy especiales para mí. Por otra parte agradezco a mi tutor académico Dafnis Echeverría por haberme brindado su apoyo.

A la universidad de Oriente (UDO) núcleo Bolívar, que fue mi segunda casa a lo largo de mi carrera asimismo a cada uno de los profesores que con sus conocimientos y experiencias permitieron formarme como profesional.

KENRRY J.M ROJAS R

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la cuenca alta del río Wará, específicamente aguas arriba de la represa Wará II, en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar. El objetivo del estudio es realizar un análisis del movimiento de sedimentos en el tramo del río Wará que alimenta de caudal líquido y caudal sólido al embalse de la represa antes mencionada. 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 topobatimétrica del área de estudio, que permitió describir geomorfológicamente dicha zona. Se realizó la cuantificación de los volúmenes sedimentos contenidos en el embalse con base a la construcción del plano topográfico y de las secciones transversales. Se determinó como es la distribución de los sedimentos que se han depositado durante la vida operativa de la represa. Se tomaron tres (3) muestras de los suelos del lecho del embalse de las zonas críticas que deberán ser profundizadas y se procedió a la clasificación de las muestras de acuerdo al Sistema de Clasificación Unificada de Suelos. Así mismo se tomaron cinco (5) muestras adicionales en el lecho del río Wará, aguas arriba del embalse. Se aplicaron los métodos de Hjulstrum, Van Rijn y Visher para explicar el flujo de sedimentos. Entre los resultados relevantes se concluyó que el embalse posee una cantidad de azolves acumulados en su interior de aproximadamente 1645 m^3 , estando una parte de estos sedimentos acumulados en una berma o isla que aflora durante el período de estiaje hacia la ribera izquierda (o ribera convexa de sedimentación) del embalse hasta la cota de 902 msnm y por encima de este nivel, se encuentra otra parte importante de sedimentos producto del desplome de los taludes de la ribera derecha del embalse. Por otro lado, todas las muestras tomadas del lecho corresponden a arenas mal gradadas (SP). Se presume que la fuente de los sedimentos depositados en el vaso de almacenamiento de la represa Wará II, provienen de la cuenca alta del río Wará y de las evidencias de erosión observadas en los taludes de la ribera derecha del embalse.

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN.....	V
CONTENIDO.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DETABLAS	XII
LISTA DEAPÉNDICES	XIII
LISTA DE ANEXOS.....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	6
1.2.1 Objetivo general.....	6
1.2.2 Objetivos específicos	6
1.2 Justificación de la investigación.....	6
1.3 Alcance de la investigación	7
CAPÍTULO II.GENERALIDADES	8
2.1 Ubicación del área de estudio.....	8
2.2 Clima	9
2.3 Hidrografía	11
2.4 Geología	12
2.5 Geomorfología.....	13
2.6 Suelos	15
2.7 Erosión.....	17
2.8 Vegetación del área de estudio	19
2.9 Fauna del área de estudio	20

CAPÍTULO III.MARCO TEÓRICO	22
3.2 Bases teóricas	23
3.2.1 Canales abiertos	23
3.2.2 Parámetros geométricos de los canales abiertos	24
3.2.3 Elementos geométricos de una sección de canal	25
3.2.4 Ecuación fundamental de Darcy	26
3.2.5 Ecuación fundamental de Manning	27
3.2.6 Ecuación de la conservación de la energía de Bernoulli	28
3.2.7 Estados del flujo.....	28
3.2.8 Tipos de flujo	30
3.2.9 Modelo unidimensional	31
3.2.10 Modelo bidimensional	33
3.2.11 Programas computarizados de Aplicación.....	34
3.2.12 Análisis granulométrico.....	36
3.2.13 Escala granulométrica.....	36
3.2.14 Grado de redondez de las partículas sedimentarias	38
3.2.15 Morfología de ríos	41
3.2.16 Clasificación de los ríos.....	42
3.2.17 Movimiento de los sedimentos	46
3.3 Bases Legales	54
3.3.1 Ley de aguas	54
3.4 Definición de términos básicos	56
3.4.1 Afluentes.....	56
3.4.2 Aliviadero	56
3.4.3 Área del embalse.....	56
3.4.4 Ataguía.....	57
3.4.5 Auscultación	57
3.4.6 Avenida.....	57
3.4.7 Avenida de proyecto	57
3.4.8 Caudal	57
3.4.9 Coronación.....	58
3.4 10 Corte.....	58
3.4 11 Cuenca hidrográfica.....	58
3.4.12 Cuenca vertiente	58
3.4.13 Derivar	58
3.4.14 Desagüe de fondo.....	58
3.4.15 Distancia de resguardo.....	59
3.4.16 Erosión.....	59
3.4 17 Espesor de tongada del hormigón.....	59
3.4 18 Estabilidad	59

3.4 19 Evaporación	59
3.4.20 Longitud de la coronación de la presa.	59
3.4.21 Márgenes del embalse.....	60
3.4.22 Nivel aguas abajo.....	60
3.4.23 Nivel mínimo de explotación.....	60
3.4.24 Órgano de desagüe.....	60
3.4.25 Pie de la presa	60
3.4.26 Talud	61
3.4.27 Toma de agua.....	61
3.4 28 Umbral de los aliviaderos	61
3.4.29 Volumen activo.....	61
3.4.30 Volumen de control de avenidas.....	61
3.4.31 Volumen de la presa	62
3.4.32 Volumen de nivelación	62
3.4 33 Volumen del embalse.....	62
3.4-34 Volumen inactivo	62
3.4.35 Volumen muerto	62
3.4.36 Volumen útil	62
3.4.37 Zona inundable	63
 CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE TRABAJO	64
4.1 Tipo de investigación	64
4.2 Diseño de investigación.....	64
4.2.1 Investigación de campo	64
4.2.2 Investigación documental	65
4.3 Población y muestra de la investigación	65
4.3.1 Población de la investigación	65
4.3.2 Muestra de la investigación	66
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	66
4.4.1 Técnicas de recolección de datos.....	66
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos	67
4.5 Flujograma de la metodología de trabajo.	68
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos	69
4.6.1 Recopilación de la información y reconocimiento de campo.....	69
4.6.2 Geometría y dimensiones del embalse.....	69
4.6.3 Descripción morfométrica de la cuenca.....	70
4.6.4 Características texturales de los sedimentos	73
4.6.5 Distribución de los sedimentos en el embalse	73
4.6.6 Descripción del movimiento de los sedimentos; Error! Marcador no definido.	

CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS	
RESULTADOS.....	74
5.1 Geometría y dimensiones del embalse	74
5.1.1 Secciones transversales del embalse	76
5.2 Morfometría de la cuenca que aporta los sedimentos al embalse	79
5.3 Características texturales de los sedimentos del lecho del embalse	80
5.3.1 Sedimentos del lecho del embalse	80
5.4 Distribución de los sedimentos que se encuentran en el embalse	86
5.4.3 Cuantificación del volumen de azolves dentro del embalse	87
5.5 Movimiento de los sedimentos en la cuenca alta del río Wará	89
5.5.1 Aplicación del modelo de Hjulstrum	89
5.5.2 Mecanismos de transporte de sedimentos.....	90
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 94
Conclusiones	94
Recomendaciones	95
 REFERENCIAS	 96
 APÉNDICES	 99

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	Río Wará aguas abajo del dique Wará II.....	11
2.4	Hidrografía de la subcuenca del río Uairén (CVG EDELCA, 1983).....	12
2.5	Pendientes de Wará (Figuroa, M. 2007).....	15
2.6	Cobertura vegetal de la cuenca del río Caroní (CVG-EDELCA, 2004).....	20
3.1	Redondez y Esfericidad de las Partículas (UDO, 2.000).....	41
3.2	Diagrama de Hjulstrum (1935). (Allen, 1965).....	47
3.3	Perfil longitudinal de unrío, evidenciando una selección granulométrica (Reineck y Sing 1981).....	48
3.4	Tipos de transporte de lossedimentos de unrío. (Reineck y Sing 1981).	50
3.5	Diagrama de Shields para el movimiento incipiente (Yang, 1996).....	52
3.6	Curvas de la distribución de tamaño de grano en depósitos fluviales y marinos (Visher, 1969).....	54
4.1	Flujograma de la investigación.....	68
5.1	Levantamiento topográfico del embalse Wará II.....	77
5.2	Mediciones taquimétricas en el embalse Wará II.....	77
5.3	Sección transversal 10.....	78
5.4	Sección transversal 20.....	78
5.5	Sección transversal 30.....	79
5.6	Sección transversal 40.....	79
5.7	Sección transversal 50.....	80
5.8	Cuenca alta del río Wará (línea amarilla: cauce principal, línea recta blanca: eje axial, Línea curva blanca: límites de la cuenca).....	80
5.9	Curva granulométrica de la muestra A.....	82
5.10	Curva granulométrica de la muestra B.....	83
5.11	Curva granulométrica de la muestra C.....	83
5.12	Ubicación relativa de puntos de muestreo.....	84
5.13	Curva granulométrica de la muestra D.....	85
5.14	Curva granulométrica de la muestra E.....	85
5.15	Curva granulométrica de la muestra F.....	86
5.16	Curva granulométrica de la muestra G.....	86
5.17	Curva granulométrica de la muestra H.....	87
5.18	Acumulación de sedimentos en la ribera izquierda del embalse Wará II...	89
5.19	Modelo de Hjulstrum aplicado.....	90
5.20	Curva granulométrica según Visher para la muestra A.....	91
5.21	Curva granulométrica según Visher para la muestra B.....	92
5.22	Curva granulométrica según Visher para la muestra C.....	92
5.23	Curva granulométrica según Visher para la muestra D.....	92
5.24	Curva granulométrica según Visher para la muestra E.....	93
5.25	Curva granulométrica según Visher para la muestra F.....	93
5.26	Curva granulométrica según Visher para la muestra G.....	93

5.27	Curva granulométrica según Visher para la muestra H.....	94
------	--	----

LISTA DETABLAS

	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).....	10
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).....	10
2.3 Composición geológica de la Subcuenca del río Uairén. (CVG-EDELCA, 1983).....	13
2.4 Características de los suelos en Wará (CVG EDELCA, 1983).....	16
2.5 Descripción erosión fuerte (CVG EDELCA, 2003).....	17
3.1 Escala de Wentworth para clasificar las partículas de sedimentos clásticos según su tamaño (UDO, 2000).....	37
3.2 Grados de redondez de las partículas sedimentarias (Herrera, 1998).....	38
4.1 Valores interpretativos del factor forma (Pérez, 1979).....	71
4.2 Valores interpretativos de la pendiente de la cuenca (Pérez, 1979)...	73
3.1 Clasificación según el tamaño de las partículas de Wenworth (Pettijohn, 1949).....	31
3.2 Composición de la flota mundial de dragas. (Llorca, J., 1997).....	37
3.3 Comportamiento de las dragas en función del terreno (Vigueras, M. 1997).....	46
5.1 Coordenadas UTM y cotas de los puntos de interés en el dique y embalse Wará II.....	76
5.2 Parámetros morfométricos para la cuenca del embalse Wará II.....	81
5.3 Coordenadas de ubicación de muestras del lecho.....	80
5.7 Coordenadas de ubicación de muestras del lecho de la cuenca alta del río Wara.....	84
5.8 Volúmenes entre secciones transversales.....	89
5.9 Velocidades límites para que se produzcan los estados de movimiento de los sedimentos.....	91
5.10 Fracción porcentual que se moviliza de acuerdo al mecanismo de transporte según Visher.....	94

LISTA DE APÉNDICES

	Página
APÉNDICE A	100
DATOS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL DIQUE Y EMBALSE WARÁ II.....	100
A.1 Cálculo de puntos de interés en el dique y embalse Wará II.....	101
APÉNDICE B	102
MODELO 3D DEL EMBALSE WARÁ II.....	102
B.1 Modelo 3D del embalse Wará II.....	103

INTRODUCCIÓN

Las represas son estructuras de mucha utilidad, ya que son usados en campos como el riego, el aprovechamiento y generación de energía, el control de inundaciones, la navegación, la pesca, control de sedimentos, y la recreación.

Un embalse o represa es una acumulación artificial de agua que tiene como particularidad poder ser parcial y/o totalmente vaciado por gravedad o por aspiración.

Uno de los problemas principales que enfrentan los embalses es la depositación de sedimentos que son acarreados por las aguas superficiales que alimentan el embalse. Estos sedimentos quedan atrapados en el vaso de almacenamiento, lo cual va disminuyendo su capacidad de almacenar agua.

El caso que ocupa esta investigación trata específicamente del movimiento de los sedimentos que provienen de la cuenca alta del río Wará y que se depositan finalmente en el vaso de almacenamiento de la represa Wará II, la cual fue construida hace aproximadamente una década en el río Wará, municipio Gran Sabana del estado Bolívar con la finalidad de abastecer de agua a los habitantes de la población de Santa Elena de Uairén.

Para ello se aplicará una metodología de tipo descriptiva que permita caracterizar los sedimentos y los procesos de acarreo de estos azolves por parte de las corrientes desde la cuenca alta del río Wará hasta la represa antes citada. Por otro lado, este tipo de investigación ameritará un diseño de campo y documental para alcanzar el objetivo general planteado en la investigación.

Esta investigación se estructura 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 resultadosobtenidos en cada una de las etapas de la metodología aplicada.

Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones más relevantes como consecuencia final del estudiopara dar cumplimiento a los objetivosplanteados.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

El agua es el recurso esencial del cual depende toda forma de vida sobre la tierra. Es vital para el bienestar de nuestra civilización y representa un elemento indispensable en el crecimiento y desarrollo, siendo al mismo tiempo una condición básica para la buena salud del medio ambiente mundial.

Sólo una pequeña parte de esta agua es dulce y apropiada para el consumo humano, para el regadío de los campos y para el uso industrial. Igualmente comprobaremos que recibimos una cantidad fija de agua de lluvia y que tan sólo una pequeña parte de ella riega efectivamente el suelo. De ésta un porcentaje significativo va a parar a los cursos de agua y los ríos para a continuación verter en los océanos. Todo esto no deja más que una cantidad pequeña de agua disponible para el uso humano y para la infiltración en el suelo permitiendo rellenar las capas subterráneas, lo que convierte en más que necesario la captación, el embalsado y la gestión del agua en los embalses. Comprobaremos también que el agua de lluvia no está repartida de manera uniforme según las estaciones o los lugares y, como existe un desequilibrio entre la oferta y la demanda, es primordial administrar esta agua con esmero. Verán igualmente las cifras de población mundial y las previsiones de su tasa de crecimiento; el aumento mayor de población será en los países menos desarrollados donde las necesidades de agua son mayores pero donde su aprovisionamiento es actualmente limitado.

La demanda de agua, debida a la expansión de la población mundial y del crecimiento económico, ha aumentado la necesidad de construir presas que permitan

almacenar grandes volúmenes de agua .Hoy las presas y los embalses continúan sirviendo para estos mismos objetivos, respondiendo así a las necesidades a la vez sociales y económicas del mundo. Además, son compatibles con el medio ambiente natural de cada región.

Las presas han permitido a las poblaciones recoger y almacenar el agua y utilizarla en periodos de sequía. Así pues, han sido siempre esenciales para el asentamiento y abastecimiento de las poblaciones, las granjas y también para proporcionar el alimento gracias al regadío de los campos de cultivo.

Los embalses pueden causar daños ambientales significativos al impedir el movimiento de sedimento y creando por esa razón erosión corriente abajo, interrumpiendo el ciclo de vida de especies de peces que deben viajar corriente arriba para desovar, y cambiando el momento y la cantidad de caudal corriente abajo, lo cual puede causar impacto en las plantas y especies animales en el río y sus zonas de inundación.

Las estructuras de embalse con presas están sujetas a sedimentación, lo cual, en el transcurso del tiempo reduce su capacidad de almacenamiento de agua. Cuando el agua de escorrentía queda atrapada detrás de las presas, no existe una salida para los sedimentos que son transportados hacia el embalse por medio del agua que escurre.

En Venezuela existen alrededor de 108 embalses, reservorio o lago artificial, donde se almacenan los excesos de agua durante los períodos de mayor escorrentía, para proporcionarlos en los períodos secos o simplemente para impedir daños aguas abajo. Se construyen interponiendo una estructura (presa, dique o represa), impermeable y estable, al flujo de agua en una sección adecuada del cauce.

La cuenca alta del río Wará se presume sea la principal fuente de sedimentos que llegan hasta el embalse Wará II, en el municipio Gran Sabana. Esta obra hidráulica fue construida hace una década para el almacenamiento de agua y su posterior suministro a los habitantes de la población de Santa Elena de Uairén. Sin embargo, esta represa padece actualmente de algunos problemas operativos como es la cantidad de sedimentos que se han depositado dentro del vaso de almacenamiento de la represa y por otro lado, es de especial significación como se produce el movimiento de estos sedimentos a través de la cuenca alta de este río de la cuenca del río Uairén.

Dado el planteamiento anterior, cabe plantearse las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuáles son las características morfométricas de la cuenca alta del río Wará?

¿Cuáles son las características geométricas y dimensionales del vaso de almacenamiento de la represa Wará II?

¿Cuáles son las características texturales de los sedimentos que se mueven en la cuenca alta y de los que se han depositado en la represa Wará II?

¿Cómo son los mecanismos que rigen el movimiento de los sedimentos en la cuenca alta del río Wará?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Analizar el movimiento de sedimentos que se produce en la cuenca alta del río Wará en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar morfométricamente la cuenca alta del río Wará
2. Describir la geometría y dimensiones del vaso de almacenamiento de la represa Wará II.
3. Determinar las características texturales de los sedimentos que se movilizan en la cuenca alta del río Wará y los que se encuentran depositados en el embalse Wará II.
4. Describir los mecanismos de transporte de sedimentos que se producen en la cuenca alta del río Wará.

1.2 Justificación de la investigación

La naturaleza de los sedimentos presentes en la cuenca alta del río Wará y los mecanismos que rigen el movimiento de los mismos y logran su acarreo hasta depositarse en el vaso de almacenamiento de la represa Wará II, son procesos que deben ser analizados ya que aun cuando se trate del proceso normal de transporte y depositación de sedimentos dentro del vaso de almacenamiento del embalse, la

capacidad o la funcionalidad de la represa se podría ver comprometida por este movimiento de sedimentos.

Tales circunstancias impulsan o motivan la ejecución de la presente investigación con la finalidad de conocer la dinámica hidro-sedimentaria que permita en el futuro tomar las previsiones a que haya lugar para garantizar la continuidad operativa del embalse.

1.3 Alcance de la investigación

El desarrollo de la presente investigación ameritará en primer lugar la descripción de la geometría y dimensiones del vaso de almacenamiento de la represa Wará II y de la morfometría de la cuenca alta del río Wará.

También entrará dentro del alcance de la presente investigación la caracterización textural de los sedimentos depositados dentro del embalse. Finalmente, se evaluarán los procesos y mecanismos que intervienen en el movimiento de los sedimentos a través de la cuenca alta del río Wará.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el río Wará, en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar. Específicamente, se encuentra al oeste de la población Santa Elena de Uairén (capital del municipio). Geográficamente, Wará II se encuentra geográficamente ubicado de acuerdo a las coordenadas UTM (REGVEN): N 511164 y E 706790.(Figura 2.1). (Figura 2.2)

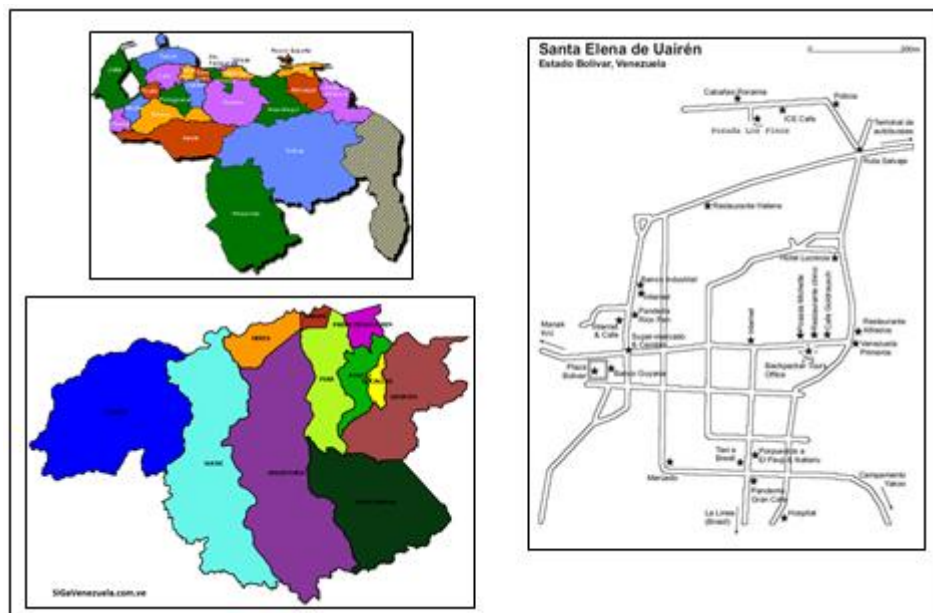


Figura 2.1 Ubicación relativa del área de estudio



Figura 2.2 Ubicación del área de estudio en imagen de satélite Landsat (Google Earth, 2016).

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 bimodal. 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 super 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 en la región hidrográfica río Caroní, sector alto y la subcuenca del río Uairén (mm). (CVG-EDELCA, 2003. CVG-EDELCA, 1983).

Sector	Anual	Período seco	Período 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 (mm).(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 km² 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 km², 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 2.3).



Figura 2.3 Río Wará aguas abajo del dique Wará II.

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 2.4).

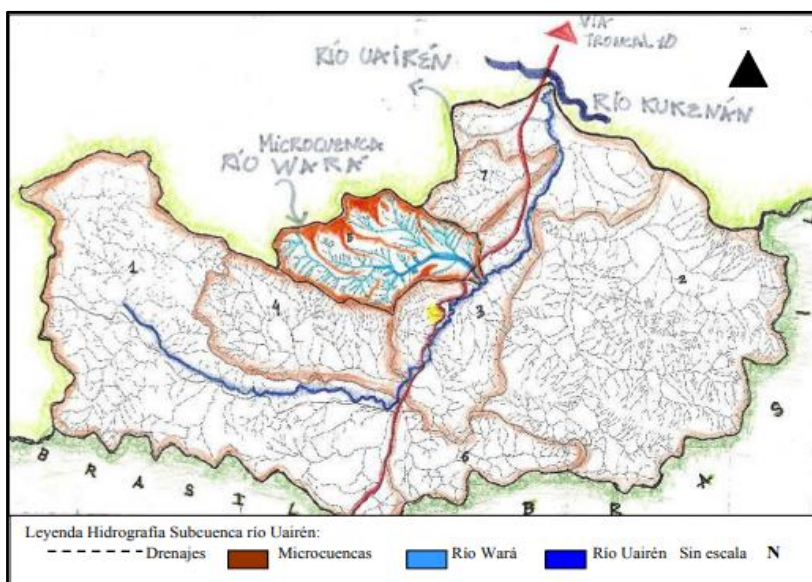


Figura 2.4 Hidrografía de la subcuenca del río Uairén (CVG EDELCA, 1983).

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).

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 Geomorfología

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).

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 2.5 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 muy suaves y suaves.

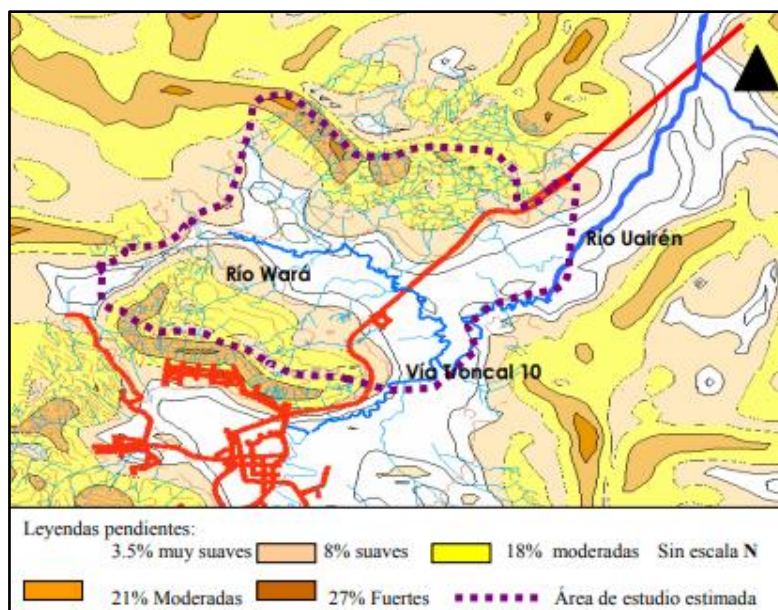


Figura 2.5 Pendientes de Wará (Figuerola, M. 2007 en CVG EDELCA, 1983).

2.6 Suelos

De acuerdo al Estudio de la Subcuenca del río Uairén (1983), en el área en estudio existen tres tipos de suelos, a entender: Entisoles, Utilisoles e Inceptisoles, que responden a la “diversidad existente de materiales litológicos, tipos de relieve, clima y cobertura vegetal” (CVG-EDELCA, 2004, p.85).

A partir de observaciones realizadas en campo, pareciera predominar en el área de asentamiento de la población los Entisoles asociados a la textura arenosa en el valle coluvio-aluvial, con algunas variaciones por rocosidad y pedregosidad en los sectores de mayor pendiente (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Características de los suelos en Wará (CVG EDELCA, 1983)

Relieve	Taxonomía	Textura	Profundidad	Características hidrológicas de los suelos
Cuestas de areniscas	Entisoles	Arenosa	<30 cm	Alta permeabilidad y baja capacidad de retención de humedad.
Valle coluvio - aluvial	Ultisoles	Arcillosa	>120 cm	Lenta a moderada permeabilidad y alta retención de humedad asociado a la escasa pendiente que impide el drenaje.
Áreas deprimidas planicie aluvial	Inceptisoles	Arenosa	>120 cm	Sometidos a un anegamiento permanente asociado al drenaje lento. Alto contenido de materia orgánica.

Los Entisoles específicamente se caracterizan por ser suelos:

“Superficiales a moderadamente profundos...predominan las texturas arenosas y areno francosas con proporciones variables de grava, guijarros de cuarzo y nódulos de hierro...Los Entisoles tienen su mayor expresión en los sectores Medio y alto Caroní donde alanza a cubrir casi el 60% del área” (Ibidem, p.86).

En particular, los suelos Entisoles en el área en estudio se evidencian en la existencia de un gran potencial de yacimientos de minerales no metálicos, específicamente, arena granza (blanca y rosada). Estos han sido explotados durante más de 30 años, para satisfacer la demanda local de la industria de la construcción. La explotación de esta materia prima ha generado entradas económicas a la comunidad y funge como uno de los aspectos positivos sobre la comunidad manifestado por las personas encuestadas.

Asimismo, las personas empadronadas expresaron su preferencia hacia este suelo, su condición de alta permeabilidad facilita la movilidad a pie en épocas de lluvia.

De otra forma, los órdenes Entisoles y Ultisoles tienen características comunes, entre las que predominan la baja fertilidad y, por ende, el bajo potencial para el

desarrollo de actividades agrícolas convencionales sin aplicación de alguna técnica productiva especial. Los suelos muy húmedos y/o con concentraciones de agua superficial se ubican generalmente en la planicie aluvial y la primera y segunda terraza del valle coluvio aluvial, las cuales presentan la menor pendiente y por ende, suelen ser las preferidas en general para ubicar los asentamientos. Sin embargo, su característica hidrológica (considerable el grado de sedimentación que presenta el lecho en la planicie aluvial que proviene de las cuestas de areniscas) debe ser tomada en cuenta debido al efecto que tiene sobre la estabilidad de los proyectos de instalación de servicios de infraestructura de redes y de las viviendas.

2.7 Erosión

Los efectos de los condicionantes y agentes externos como: el clima, el suelo, la topografía, la cobertura vegetal y la acción antrópica, se manifiestan, sobre el suelo, en un proceso de degradación, el cual tiene como resultado la producción de sedimentos y la disminución de sus atributos necesarias para la producción de bienes y servicios (CVG-EDELCA, 2004, p.87).

Según el Estudio del Plan Maestro de la Cuenca del río Caroní (2004) el área en estudio se encuentra en una zona de erosión fuerte determinados por factores naturales como antrópicos. A continuación se describe ese tipo de erosión (tabla 2.5).

Tabla 2.5. Descripción erosión fuerte (CVG EDELCA, 2004)

Erosión	Descripción
Fuerte	Áreas con erosión laminar severa y generalizada, que ha producido la pérdida de más de la mitad del espesor original del epipedón, en más del 50% de la superficie, o áreas donde se presenta erosión concentrada (surcos o cárcavas) que requieren trabajos intensos para su corrección.

A través de la visita de campo se pudieron detectar varias zonas de erosión intensa: Los primeros, aguas abajo del dique Wará I, al este de la Planta de Tratamiento Wará, se observa una cárcava en los terrenos de la comunidad indígena de Wará, colocando en situación de franco peligro a la tubería que proviene de la planta de tratamiento de agua, la cual en algún tramo de su tendido se encuentra sin apoyo (en el aire), solo anclada en los bordes de la cárcava. Cabe destacar que esta cárcava pareciera de origen natural ya que se encuentra en un valle rodeado por elevaciones o cerros, de muy escasa vegetación y elevada pendiente, por cuyas laderas se presume el descenso del agua a gran velocidad.

Existen otras zonas en la cuenca que fueron utilizadas como saques de arena que actualmente están inactivos ya que fueron declarados Zonas de Recuperación por el Instituto Autónomo de Minas del estado Bolívar (IAMIB).

Las consecuencias son en detrimento del ambiente físico-natural de la micro-cuenca del río Wará, principalmente por:

- a. La deforestación de estas zonas, dejándolas carentes de vegetación y proclives al desarrollo de cárcavas.
- b. La alteración de la dinámica de la microcuenca, que genera áreas de erosión concentrada bajo la forma de profundas cárcavas y surcos que se integran a los cursos de aguas.
- c. La aceleración de la depositación de sedimentos en los cauces pudiendo influir en la disminución del caudal del río Wará y posteriormente el del río Uairén.

- d. Se pueden generar movimientos en masa que amenacen la estabilidad de las viviendas ubicadas en los asentamientos que se encuentran en las cercanías de los saques.

Como se ha demostrado, una parte de los suelos en el área en estudios presentan severas limitaciones por las pendientes fuertes y el anegamiento permanente, bajo estas características se sugiere usos para: preservación, recreación conservación, de los regímenes de agua.

Se recomienda estudios del medio físico puntuales en las zonas donde se desarrolle urbanismo y/o obras de gran envergadura con el fin de minimizar riesgos.

2.8 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*. 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 (figura 2.6).

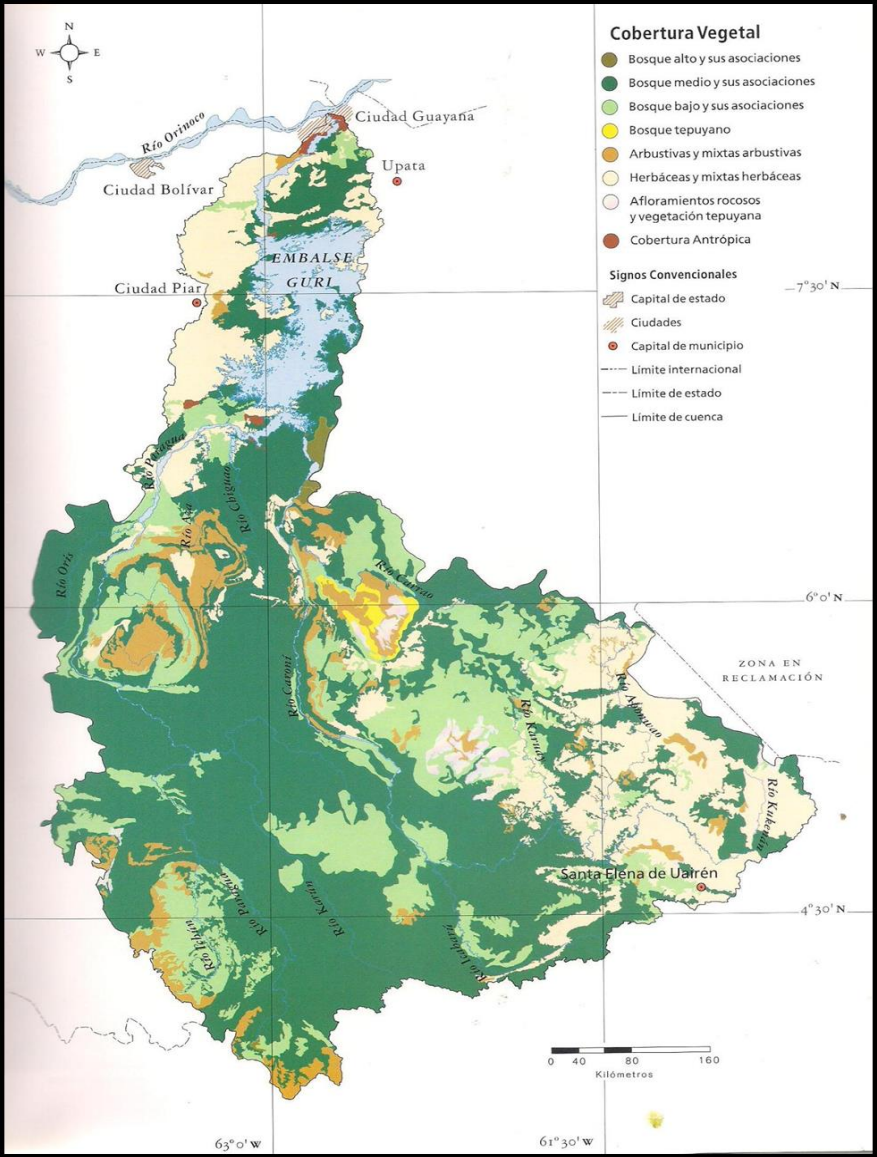


Figura 2.6 Cobertura vegetal de la cuenca del río Caroní(CVG-EDELCA, 2004).

2.9 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 cunaguaro, Murciélago Pescador, Vampiro Desmodus, Murciélago Narión, 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. Perteneciente 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 o estudios previos.

Abad, D. y Saavedra, A. (2010), elaboraron el trabajo de investigación titulado “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” en el cual analizan la las causas y consecuencias del flujo de sedimentos en el área de estudio.

Esta investigación, por haber sido desarrollada en un sector aguas abajo que la investigación que se desarrolla en el presente documento, será un apoyo muy importante para el cabal desarrollo metodológico de la misma.

Sánchez, M (2014), publicó como Trabajo de Grado una investigación titulada “GASTO DOMINANTE DEL RIO LA CANOA Y SU INFLUENCIA EN LA GEOMORFOLOGIA DEL CAUCE, LA CANOA, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÀTEGUI, VENEZUELA”, en dicho trabajo se realizó un análisis del comportamiento temporal de los flujos y su vinculación con las variaciones morfológicas del cauce.

El trabajo servirá de apoyo metodológico a 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.

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.

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 banquetas 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 solo 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:

Profundidad de flujo: Es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre.

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.

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.

Ancho superficial T: Es el ancho de la sección del canal en la superficie libre.

Área mojada A: Es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de flujo.

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.

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

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

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

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 es Q / 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.

∇h es el gradiente hidráulico

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

3.2.5 Ecuación fundamental de Manning

Esta ecuación fue desarrollada a partir de siete 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 es la velocidad media en pies/s, R es el radio hidráulico en pies, S es la pendiente de la línea de energía y n es el 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.

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.

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.

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 deberá 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.

Flujo sub crítico: Tiene una velocidad relativa baja y la profundidad es relativamente grande, prevalece la energía potencial. Corresponde a un régimen de llanura.

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:

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.

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).

Son también bastante conocidos los estudios simplificados de avenidas propuestos por Fread.

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 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

Los modelos que permiten estudiar causas 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 Hydraulic Engineering Center (HEC) del U.S. Army Corps of Engineers. 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 HydrologicEngineering Center del USACE (www.hec.usace.army.mil). 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 Auto CAD

Es un programa utilizado para dibujo [2D](#) y modelado [3D](#). Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa [Autodesk](#). El nombre AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, en que Auto hace referencia a la empresa creadora del programa y CAD a Diseño Asistido por Computadora (por sus siglas en inglés) 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 Wentworth para clasificar las partículas de sedimentos clásticos según su tamaño (UDO, 2000).

Característica del sedimento			Fragmento	Grado	Tamaño (mm.)		Tamizado	Nombre de la roca consolidada
					Decimal	Fracción		
Sedimento	Cohesivo	Granular (Análisis por Pipeta o Hidrómetro)	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- $\frac{1}{2}$		
				Media	0,5-0,25	$\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{4}$		
				Fina	0,25-0,0625	$\frac{1}{4}$ -1/8		
			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 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 (UDO, 2000).

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. son los siguientes (UDO, 2000):

Tabla 3.2 Grados de redondez de las partículas sedimentarias (Herrera, 1998).

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 (UDO, 2000) (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 (UDO, 2000) (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 (UDO, 2000) (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 (UDO, 2000)

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 (UDO, 2000) (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 (UDO, 2000).

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) (UDO, 2000).

- b. Proyección de una partícula yaciendo sobre su superficie mayor, mostrando el círculo mínimo circunscrito (para calcular su esfericidad) (UDO, 2000).

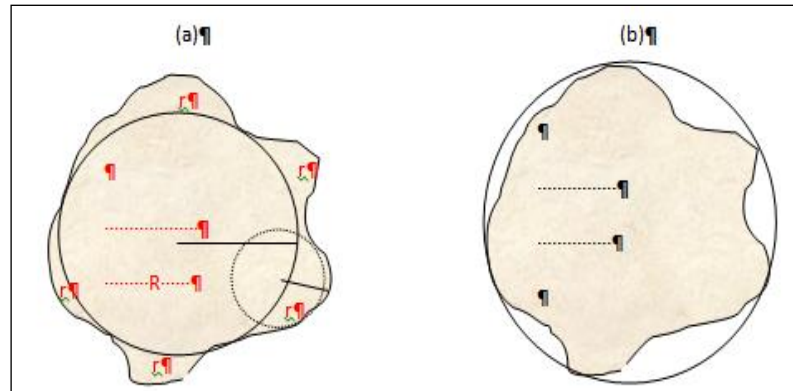


Figura 3.1 Redondez y Esfericidad de las Partículas (UDO, 2.000).

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 divida 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 trenzados es que están sujetos a un proceso de sedimentación (Maza, J. y García, M. 2011).

3.2.17 Movimiento de los sedimentos

Los sedimentos pueden movilizarse en un ambiente fluvial siguiendo tres patrones: carga de lecho movida por tracción, carga de lecho movida por saltación y carga suspendida.

Sin embargo, para que el movimiento del sedimento se concrete debe producirse antes el movimiento incipiente de las partículas que puede ser estimado utilizando modelos empíricos como los de Hjulstrum, Van Rijn, Shields o Visher.

3.2.17.1 Modelo de Hjulstrum (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 Hjulstrom, 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).

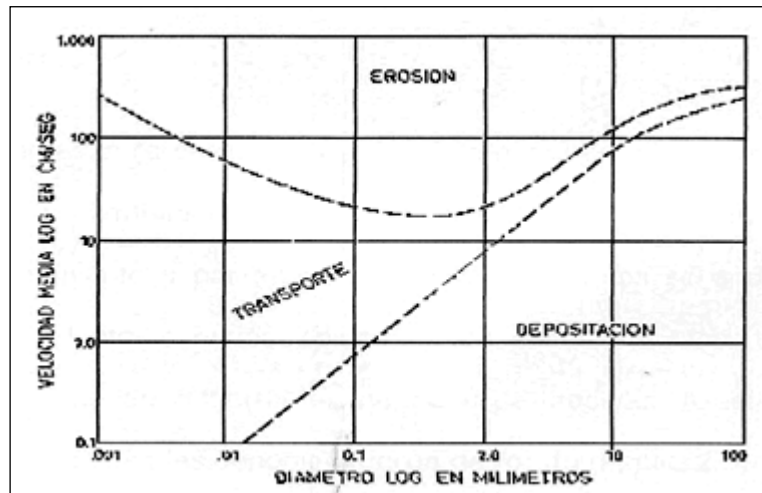


Figura 3.2 Diagrama de Hjulstrum (1935). (Allen, 1965).

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 transportados diámetros cada vez mayores, al paso que para una misma granulometría o trabajo de sedimentación realizado aumenta siempre, que la velocidad de la corriente disminuye.

Consecuentemente a velocidades de corrientes disminuyendo o el diámetro de materiales en transporte o depositados siendo menor. Este fenómeno designa por selección granulométrica está bien evidenciada en la Figura 3.3. (Reineck y Sing 1981).

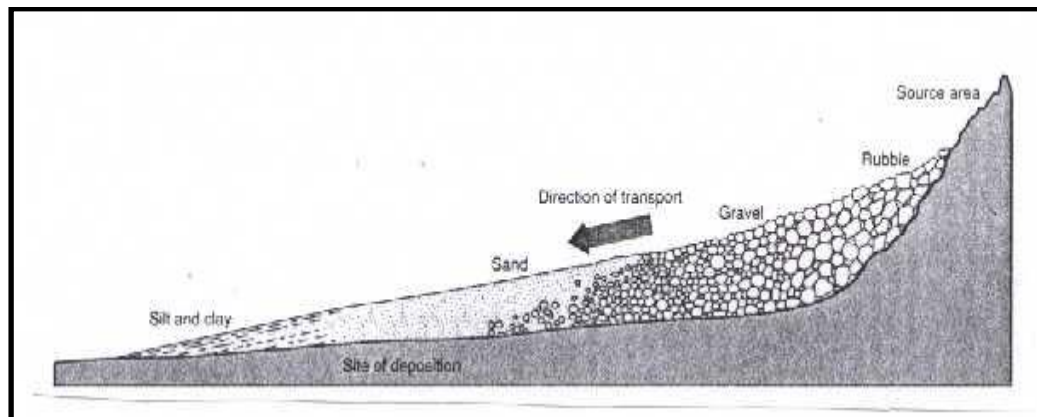


Figura 3.3 Perfil longitudinal de un río, evidenciando una selección granulométrica (Reineck y Sing 1981).

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 mantenerlos 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 Hjulstrom se verifica claramente que para el arranque de partículas de los márgenes de 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.

Esto 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 asimismo 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 en el transporte por tracción y saltación. Un transporte por tracción sobre el fondo del río puede ser subdividido 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. (Silva y Alcalá, 2005)

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 asimismo, 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.

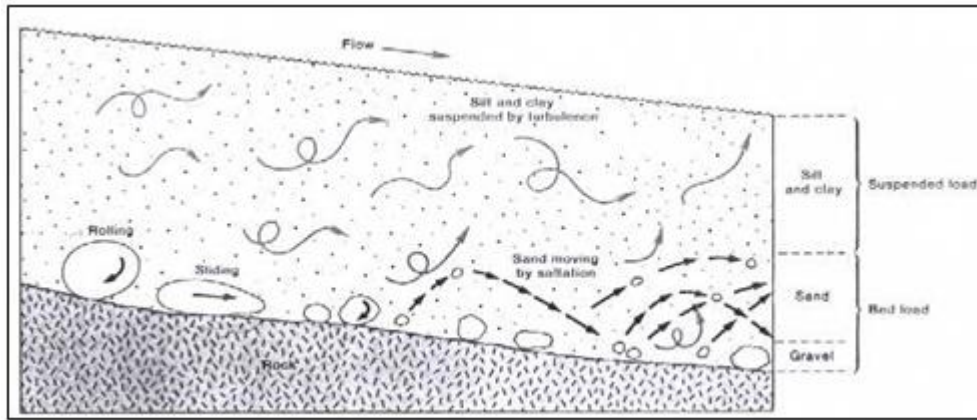


Figura 3.4 Tipos de transporte de los sedimentos de un río. (Reineck y Sing 1981).

3.2.17.2 Modelo de Van Rijn (1989)

La ecuación de Van Rijn fue derivada a través de análisis teóricos y verificada con datos de laboratorio y de campo utilizando sedimentos uniformes con diámetros de partículas comprendidos entre 0.2 mm y 2 mm. En el presente estudio se modificó la versión simplificada de la ecuación de transporte de fondo, mediante la corrección de la velocidad media crítica de cada partícula:

$$\frac{T_i}{Q} = \alpha_{vr} f_i \left[\frac{u - u_{ci}^{corr.}}{\sqrt{(s-1)g d_i}} \right]^{2.4} \left(\frac{d_i}{h} \right)^{1.2} \quad (3.5)$$

Donde $\alpha_{vr}=0.005$ y la velocidad media crítica corregida para la clase i-esima se expresa como:

$$u_{ci}^{corr.} = u_{ci} \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_{ci}}} \quad (3.6)$$

Con una velocidad media crítica determinada mediante la curva de movimiento incipiente para sedimentos uniformes de Ackers y White y el factor de fricción de Van Rijn. El coeficiente de protección-exposición propuesto adopta la siguiente forma simplificada (Yang, 1996):

$$\xi_{ci} = (d_i/d_m)^{-b}, \text{ con } b=0.8.$$

3.2.17.3 Modelo de Shields

Shields (1936), formuló que tenía mucha dificultad la expresión analítica de la acción de las fuerzas de partículas en los sedimentos. Él explicó el análisis dimensional para determinar algunos parámetros dimensionales y estableció el conocido diagrama para movimiento incipiente (Yang, 1996).

Los factores más importantes para la determinación del movimiento incipiente son: esfuerzo cortante (τ), la diferencia de densidad entre el sedimento y el fluido ($\rho_s - \rho_f$), el diámetro de la partícula (d), la viscosidad cinemática (ν), y la aceleración de gravedad (g). Estas cinco cantidades pueden ser agrupadas en dos ecuaciones dimensionales las cuales son:

$$\frac{d(\tau / \rho_f)^{1/2}}{\nu} = \frac{dU^*}{\nu} \quad (3.8)$$

Y

$$\frac{\tau}{d(\rho_s - \rho_f)gd} \gamma [(\rho_s - \rho_f) - 1] = \frac{\tau}{\gamma} \quad (3.9)$$

Donde:

ρ_s y ρ_f = Densidad del sedimento y fluido respectivamente.

γ = Peso específico del agua.

U^* = Velocidad cortante.

τ = Esfuerzo critico cortante al movimiento inicial.

La relación entre estos parámetros es determinada experimentalmente. La Figura 3.5 muestra el resultado obtenido por Shields y otros investigadores para determinar el movimiento incipiente. (Yang, 1996).

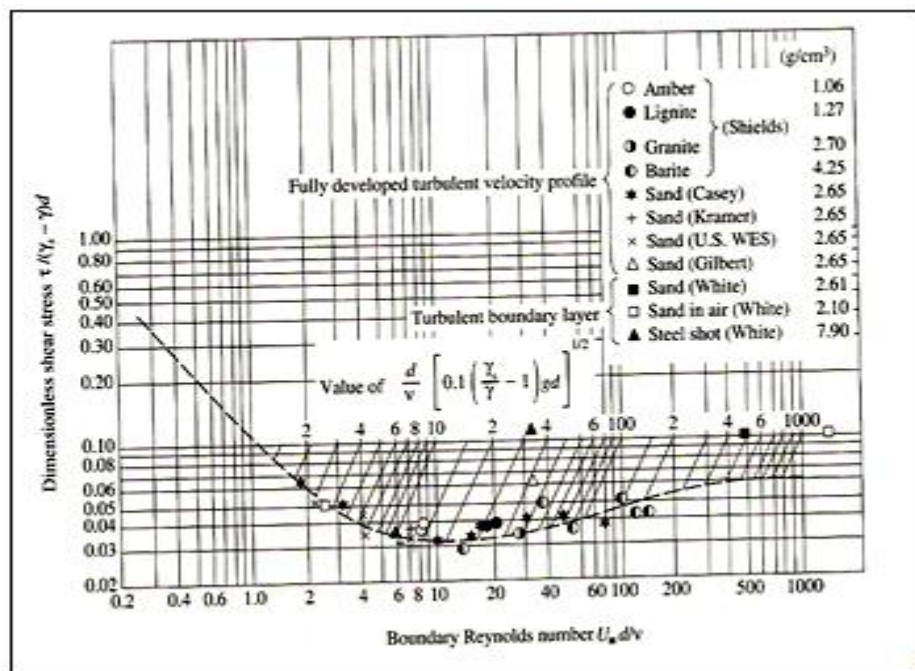


Figura 3.5 Diagrama de Shields para el movimiento incipiente (Yang, 1996).

Un punto por encima de la curva, representa que la partícula está en movimiento. Un punto por debajo de la curva representa que el flujo es incapaz de mover la partícula. En muchos experimentos Shields midió varios valores de $\tau / [d(\rho_s - \rho_f)g]$, con valores mayores, menores, dobles como críticos y extrapolando el punto de sedimento de descarga.

Este método indirecto puede ser usado para evitar la dificultad de la condición precisa en la cual la partícula del sedimento debe estar en movimiento. Aunque el diagrama de Shields ha sido muy usado por los ingenieros como el criterio del movimiento incipiente de las partículas de sedimento, no es considerable satisfactorio para poder ser el fundador de este método en la literatura (Yang, 1996).

3.2.17.4 Método de Visher

Estas curvas de frecuencia acumulativa, deben ser derivadas de los análisis de laboratorio en cuanto a ensayos para la determinación de la distribución granulométrica de las muestras de sedimentos analizadas; según las normas de calidad y especificaciones. En la Figura 3.6 se muestra la forma de las curvas de frecuencia acumulativa en estos flujos.

Se puede decir que la velocidad de la corriente en una sección dada de cauce no es uniforme en todos sus puntos, pues el agua en contacto con el fondo, las paredes sufren retardo por fricción.

Estas características son de gran importancia tanto en el tipo de sedimento que puede ser transportado, así como las estructuras que se desarrollan sobre los materiales del fondo. Tratando de explicar gráficamente la relación existente entre el tamaño del grano de las partículas transportadas (según las clasificaciones internacionales), y la velocidad de transporte de las mismas; se desarrollan estudios geológicos donde algunos geólogos pueden inferir las velocidades de sedimentación de corriente antiguas desde el tamaños de granos en rocas sedimentarias.

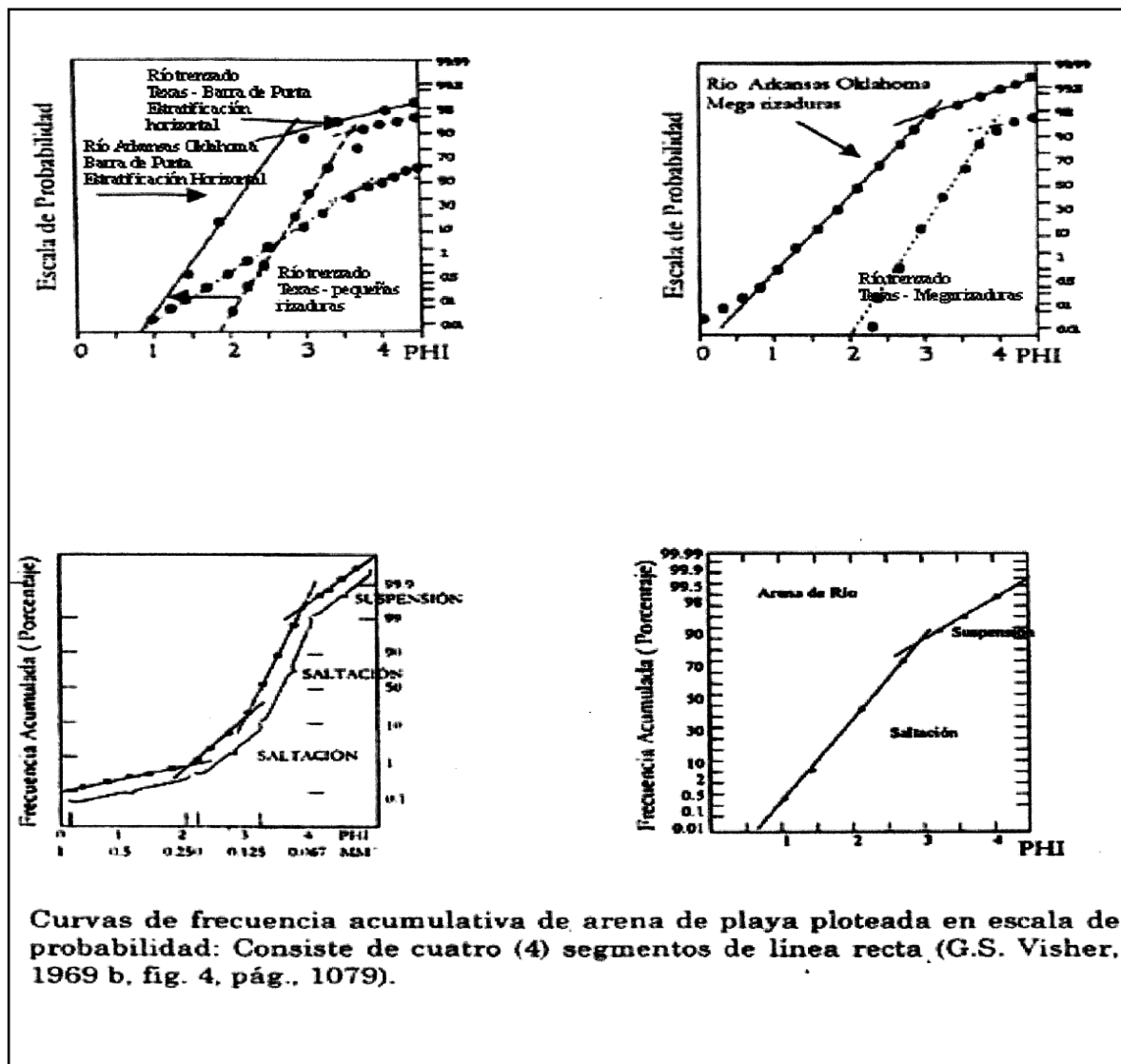


Figura 3.6 Curvas de la distribución de tamaño de grano en depósitos fluviales y marinos (Visser, 1969).

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 máximas 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^2) (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 . (Ordoñez, J., 2011).

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 (CIGB, 2015).

3.4 11 Cuenca hidrográfica

Zona drenada hasta un punto particular de un río o de un curso de agua (expresada en km^3) (CIGB, 2015).

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 km^3). Las precipitaciones que caen en la cuenca vertiente de una presa discurren y vierten hasta la presa (CIGB, 2015).

3.4.13 Derivar

Hacer ir en una dirección diferente (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

3.4.15 Distancia de resguardo

Vertical entre el nivel máximo de un embalse y la altura de la presa (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

3.4 17 Espesor de tongada del hormigón

Espesor de las capas sucesivas de hormigón delimitadas por juntas de construcción horizontales (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

3.4 19 Evaporación

Proceso de paso de un líquido al estado gaseoso o de vapor que se mezcla con el aire (CIGB, 2015).

3.4.20 Longitud de la coronación de la presa.

Longitud de la cima de la presa de una orilla a otra (CIGB, 2015).

3.4.21 Márgenes del embalse

Límites de la superficie del agua del embalse (CIGB, 2015).

3.4.22 Nivel aguas abajo

Nivel del agua que se encuentra inmediatamente aguas abajo de la presa. El nivel de aguas abajo varia según los caudales liberados desde la presa y según las influencias de las otras presas y estructuras situadas aguas abajo (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

3.4.24 Órgano de desagüe

Abertura a través de la cual el agua puede ser liberada desde un embalse a un río (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

3.4.26 Talud

Inclinación en relación con un plano horizontal; pendiente mide la inclinación respecto a la vertical (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

3.4.29 Volumen activo

Suma del volumen útil y del volumen inactivo (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

3.4 33 Volumen del embalse

Volumen de agua retenida y almacenada por la presa (CIGB, 2015).

3.4-34 Volumen inactivo

Volumen entre el órgano de desagüe más bajo y el nivel mínimo de explotación (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

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 (CIGB, 2015).

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.

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, cantidad y rasgos texturales de los sedimentos y finalmente, describir como se produce el movimiento de los sedimentos en el río Wará.

4.2 Diseño de investigación

4.2.1 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. El diseño de investigación de campo se explica según el criterio de Hernández y Otros (1996: 53), como:

“La estrategia metodológica que permite evaluar de manera adecuada las relaciones entre las variables, es decir, el diseño le indica al investigador que observaciones hacer, cómo hacerlas y cómo analizar los datos que representan tales observaciones.”

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 realizaron mediciones de la geometría y dimensiones del embalse de la represa Wará II.

4.2.2 Investigación documental

Según Tamayo y Tamayo, M. (2006), la investigación documental es aquella que se realiza a través de la consulta de documentos (libros, revistas, periódicos, memorias, anuarios, registros, códigos, constituciones, etc.)

Es documental porque se realiza la recopilación de información bibliográfica, revisiones en la Web, revisión cartográfica y documentos ya existentes sobre la zona de estudio.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

Balestrini, M. (2004:137) 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”.

La población a ser considerada como objeto de estudio es todo el cuerpo de agua, suelos de la cuenca alta del río Wará desde el embalse de la represa Wará II hacia aguas arriba, municipio Gran Sabana, estado Bolívar, Venezuela.

4.3.2 Muestra de la investigación

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

La muestra a utilizar fue de carácter opinático, dependió de la homogeneidad del cuerpo de agua y suelos del lecho de la represa Wará II y del río Wará. En ese sentido, se tomaron tres (3) muestras de suelos de la berma de materiales sedimentados dentro del embalse y cinco (5) muestras de suelos del lecho del río aguas arriba del embalse.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Técnicas de recolección de datos

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:

4.4.1.1 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.

4.4.1.2 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. Teodolito
- b. Mira topográfica
- c. Cinta Métrica
- d. Clinómetro
- e. Jalón
- f. Nivel de burbuja
- g. GPS
- h. Pala
- i. Bolsas para muestras
- j. Equipo de computación
- k. Calculadora
- l. Programas de ofimática, Hec-Ras, Autocad, etc.

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).

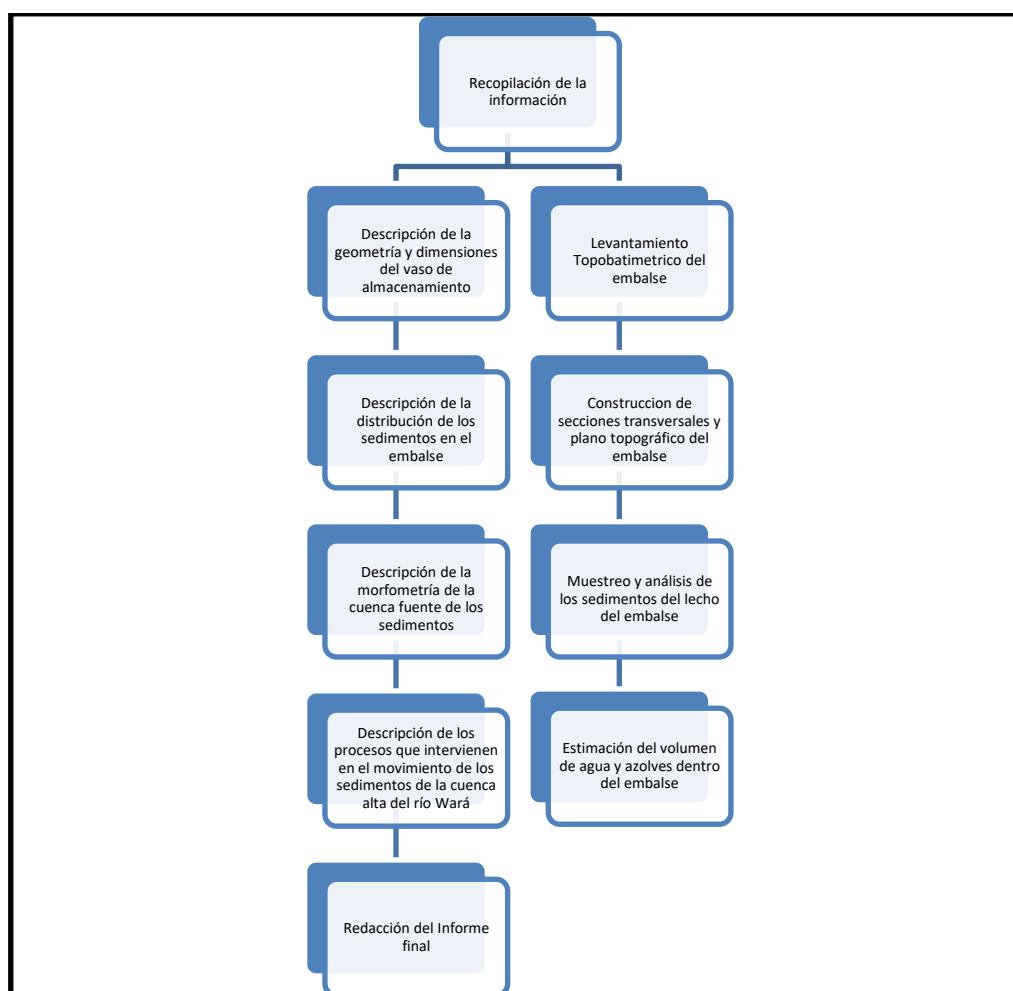


Figura 4.1 Flujograma de la investigación

4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

A continuación se describirá la metodología que ha sido esquematizada en el flujograma 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 Geometría y dimensiones del embalse

Se efectuará el reconocimiento en campo para la determinación de las dimensiones y geometría del embalse y del dique de concreto de la represa Wará II.

La descripción del vaso de almacenamiento se basará en la elaboración de un levantamiento topo-batimétrico para la construcción de secciones transversales del lecho del embalse y de un plano batimétrico del mismo.

Asimismo, se describirán las condiciones actuales de las riberas y del lecho del embalse.

Asimismo, con la ayuda de los programas Google Earthy Global Mapper se construirá un mapa topográfico de la cuenca alta 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 km².

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 (Km²)

Lax : Longitud Axial (Km)

Tabla 4.1 Valores interpretativos del factor forma (Pérez, 1979).

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 (km²)

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:

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

Donde:

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

($H_M - H^m$) es el desnivel del cauce principal (m)

L : Longitud del cauce principal (Km)

Tabla 4.2 Valores interpretativos de la pendiente de la cuenca (Pérez, 1979).

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

Se tomarán tres (3) muestras a través del eje de la berma de los materiales depositados hacia el lado izquierdo del vaso de almacenamiento y cinco (5) muestras en el cauce del río Wará. A estos materiales se les determinará su clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos de acuerdo al ensayo granulométrico respectivo a realizarse en los laboratorios de la empresa Geo-Lab en Boa Vista (Brasil) y ordenado por la Alcaldía del Municipio Gran Sabana.

4.6.5 Distribución de los sedimentos en el embalse

Con base al plano topográfico y a las secciones transversales que se construirán con los datos del levantamiento topo-batimétrico, se procederá a describir como se encuentran distribuidos los sedimentos en el embalse.

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 Geometría y dimensiones del embalse

En ese sentido, el equipo integrado por estudiantes de la Universidad de Oriente que desarrollarían los temas inherentes a la línea de investigación sobre la rehabilitación de la presa Wará II realizaron un levantamiento topo-batimétrico de carácter expeditivo, siguiendo métodos taquimétricos a toda el área del embalse, utilizando los siguientes equipos:

- a. Teodolito electrónico marca Leica
- b. Mira estadimétrica
- c. GPS marca Garmin
- d. Cinta métrica
- e. Brújula marca KE (tipo Brunton)
- f. Jalones
- g. Fichas o estacas metálicas

Durante este levantamiento taquimétrico se posicionaron 24 puntos de interés desde una única estación denominada A ubicada en el extremo derecho de la rejilla de captación de agua en la cresta del dique de concreto. La determinación de las coordenadas UTM (Datum REGVEN) de los puntos de interés fueron tomadas con un GPS marca Garmin y se muestran en el Apéndice A.1 y el plano topográfico

respectivo se presenta en el Anexo 1. En la tabla 5.1 se muestran los resultados de las coordenadas y cotas calculadas.

Tabla 5.1 Coordenadas UTM y cotas de los puntos de interés en el dique y embalse Wará II.

Est.	Pto	Cota	COORDENADAS	
	Vist		Norte	Este
C		905.00	511164.00	706790.00
	D	905.15	511166.90	706782.03
	c1	904.75	511151.99	706785.15
	c2	904.69	511142.12	706780.20
	c3	904.68	511137.99	706771.40
	c4	904.80	511142.02	706774.10
	c5	904.69	511138.87	706765.66
	c6	904.87	511147.07	706781.42
	c7	904.86	511158.86	706782.67
	c8	903.51	511160.75	706791.85
	c9	903.51	511160.75	706791.85
	c10	904.21	511161.60	706786.68
	c11	903.32	511147.49	706788.11
	c12	903.90	511137.15	706779.29
	c13	903.82	511139.44	706783.19
	c14	903.51	511134.03	706772.97
	c15	903.37	511164.28	706785.27
	c16	904.72	511164.40	706786.17
	c17	901.86	511169.22	706785.09
	c18	901.41	511170.04	706786.11
	c19	902.03	511167.88	706789.02
	c20	900.71	511170.43	706790.62
	c21	902.01	511166.23	706793.18
	c22	901.00	511166.98	706793.75
	c23	900.41	511176.42	706790.18
	c24	901.82	511173.75	706794.52



Figura 5.1 Levantamiento topográfico del embalse Wará II.



Figura 5.2 Mediciones taquimétricas en el embalse Wará II.

5.1.1 Secciones transversales del embalse

Se construyeron cinco (5) secciones transversales en el área del embalse, las cuales fueron codificadas como 10, 20, 30, 40 y 50. Y se presentan en las figuras 5.3 a 5.7

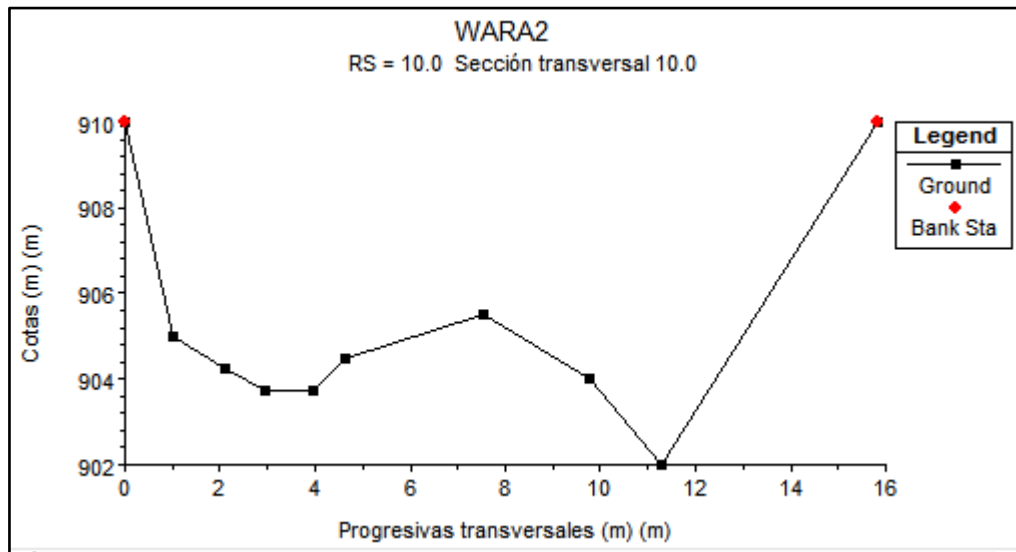


Figura 5.3 Sección transversal 10

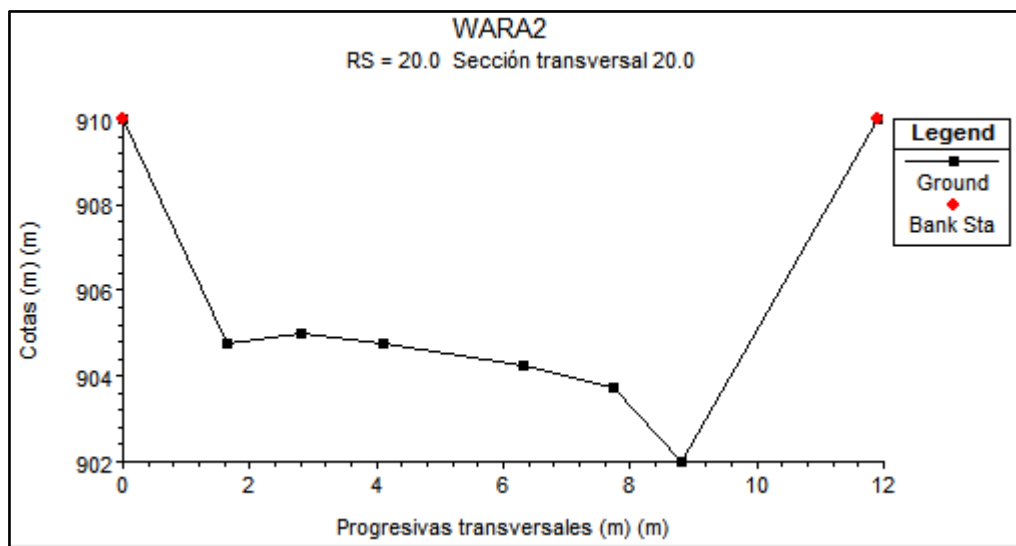


Figura 5.4 Sección transversal 20

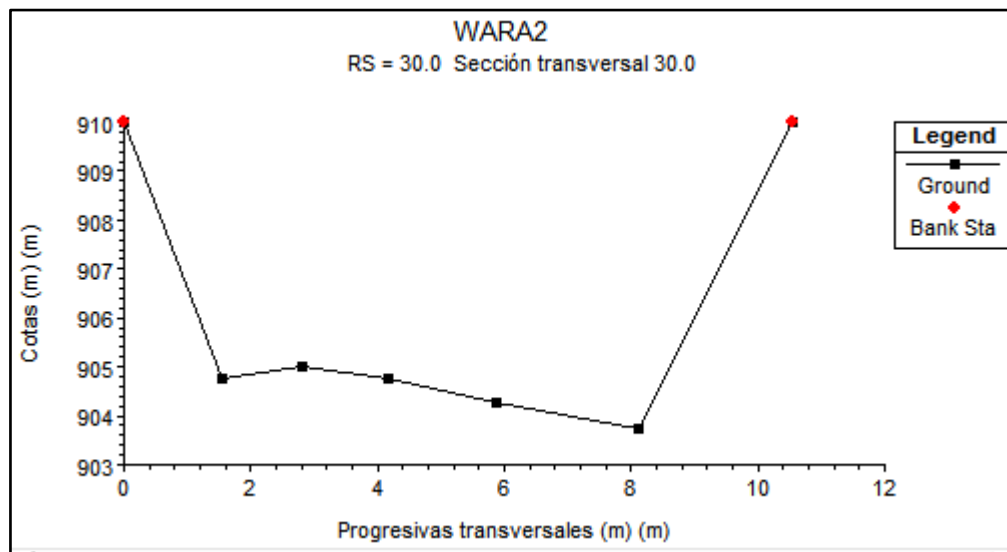


Figura 5.5 Sección transversal 30

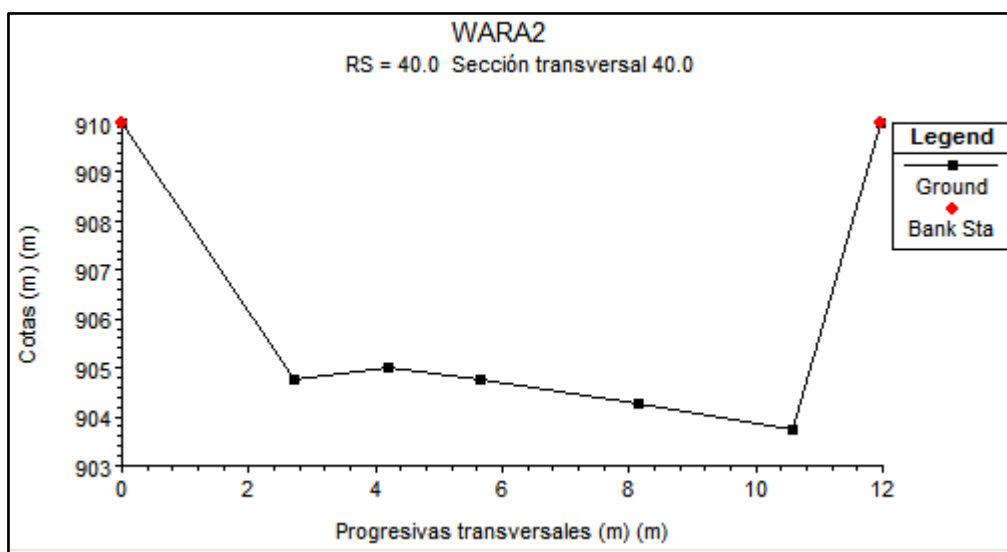


Figura 5.6 Sección transversal 40

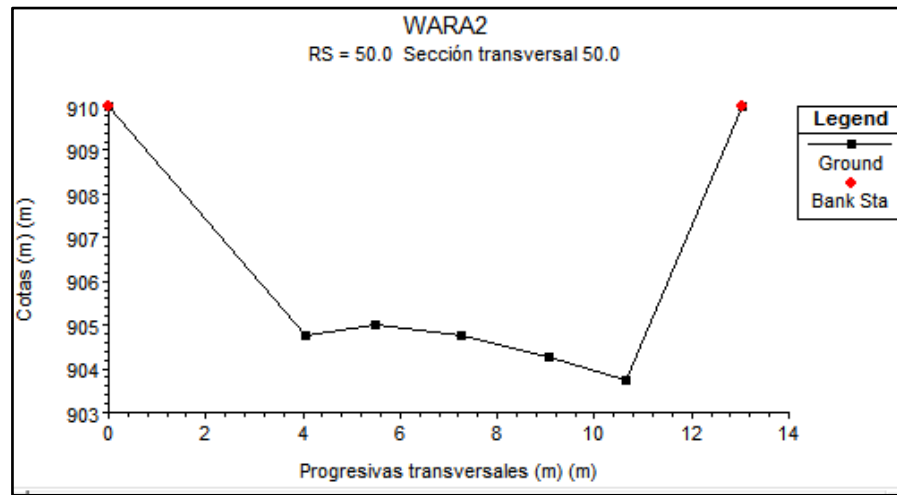


Figura 5.7 Sección transversal 50

5.2 Morfometría de la cuenca que aporta los sedimentos al embalse

A continuación, se presenta la delimitación de la cuenca alta del río Wará desde su nacimiento hasta el embalse Wará II: Figura 5.8

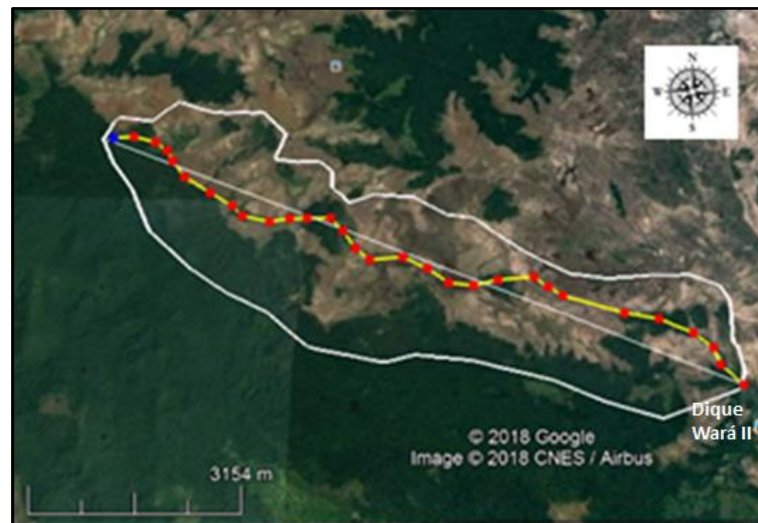


Figura 5.8 Cuenca alta del río Wará (línea amarilla: cauce principal, línea recta blanca: eje axial, Línea curva blanca: límites de la cuenca).

Seguidamente, se presentan en la tabla 5.2 los parámetros morfométricos de la cuenca aportadora de escorrentías al embalse Wará II, calculados de acuerdo a las ecuaciones 4.1 a 4.3. Cabe destacar que los valores del factor forma y el 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 5.2 Parámetros morfométricos para la cuenca del embalse Wará II.

Cuenca	Perímetro (Km)	Area (Km ²)	Long. Cauce (Km)	Long. Axial (km)	Pendiente cauce principal (m/m)	Coef. Compac. (Kc)	Factor Forma (Ff)
Cuenca de Wará II	26.2	23.60	11.89	11.3	0.018	1.52	0.18

5.3 Características texturales de los sedimentos del lecho del embalse

5.3.1 Sedimentos del lecho del embalse

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

Tabla 5.3 Coordenadas de ubicación de muestras del lecho.

Muestra	Coordenadas UTM (Datum REGVEN, huso 20)	
	Este	Norte
A	706770	511139
B	706781	511147
C	706783	511157

Las muestras fueron sometidas a análisis granulométrico y análisis de límites de Atterberg en el Laboratorio de Suelos de la Empresa GeoLab de Boa Vista, Brasil. Arrojando los resultados que a continuación se muestran en las figuras 5.9 a la 5.11 y permite calificar a las muestras como arenas finas mal gradadas (SP) de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

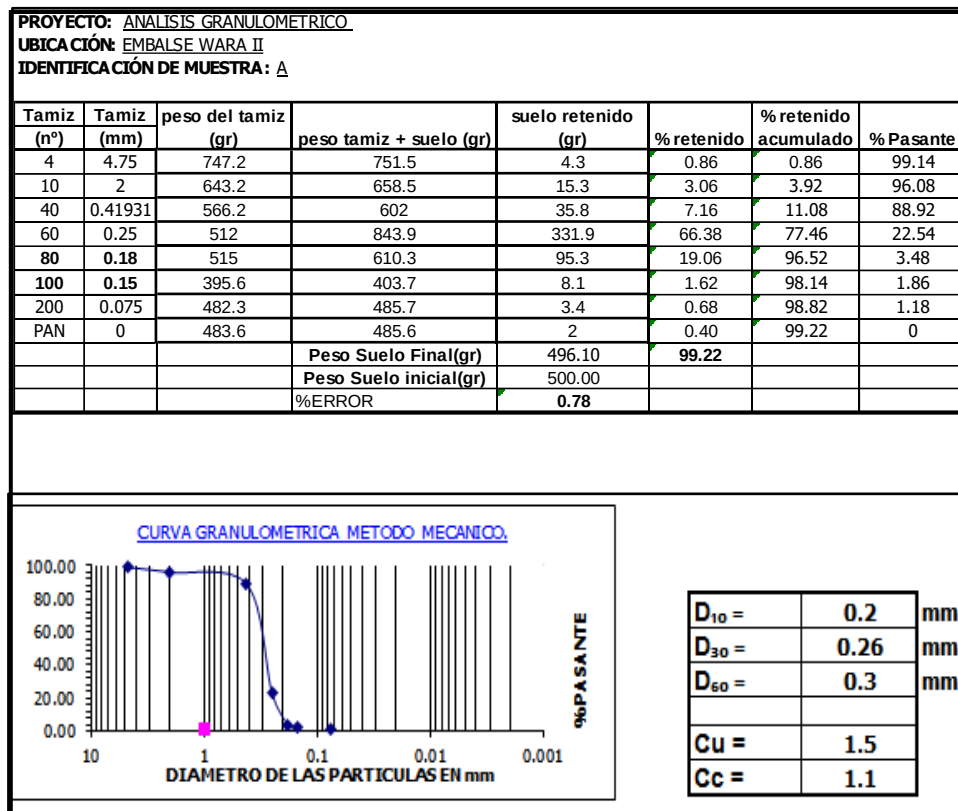


Figura 5.9 Curva granulométrica de la muestra A

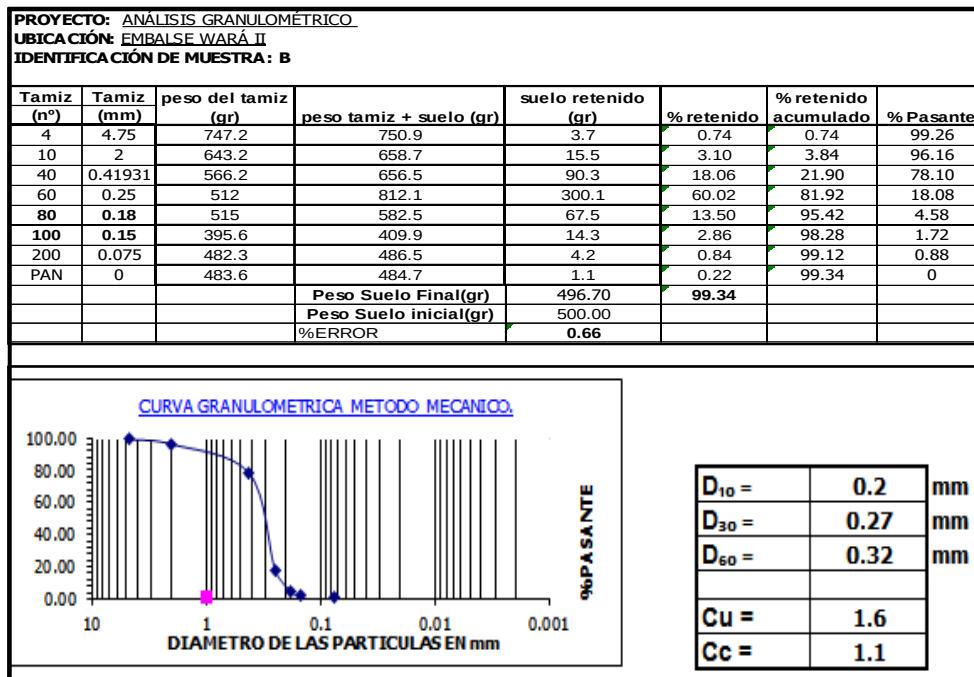


Figura 5.10 Curva granulométrica de la muestra B

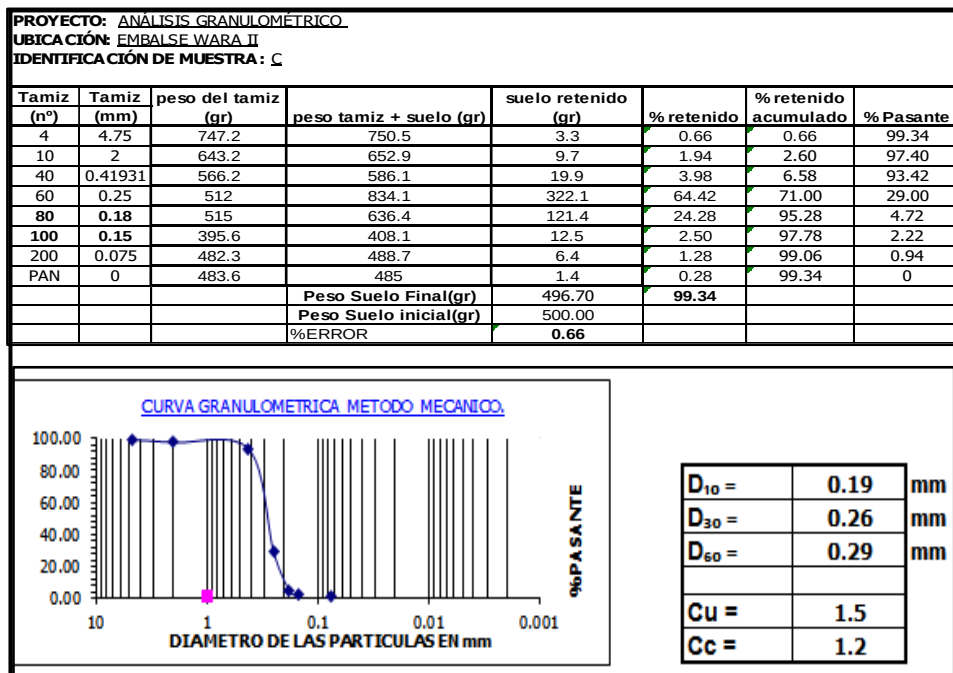


Figura 5.11 Curva granulométrica de la muestra C.

5.3.2 Sedimentos del lecho del río Wará

A tal efecto, se tomaron cinco (5) muestras en el centro del cauce del río Wará en su cuenca alta, la cuales fueron posicionadas utilizando un GPS (marca Garmin), y se muestran sus coordenadas UTM (REGVEN) en la tabla 5.7 y Figura 5.12.

Tabla 5.7 Coordenadas de ubicación de muestras del lecho de la cuenca alta del río Wara.

Muestra	Coordenadas UTM (Datum REGVEN, huso 20)	
	Este	Norte
D	706525	511686
E	706092	511948
F	704002	512372
G	703402	512240
H	701900	512773



Figura 5.12 Ubicación relativa de puntos de muestreo.

Se presentan a continuación en las figuras 5.13 a 5.17 las curvas granulométricas de las muestra tomadas en el lecho del cauce de la cuenca alta del río Wará. En ellas se puede observar que de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se corresponden con arenas mal gradadas (SP).

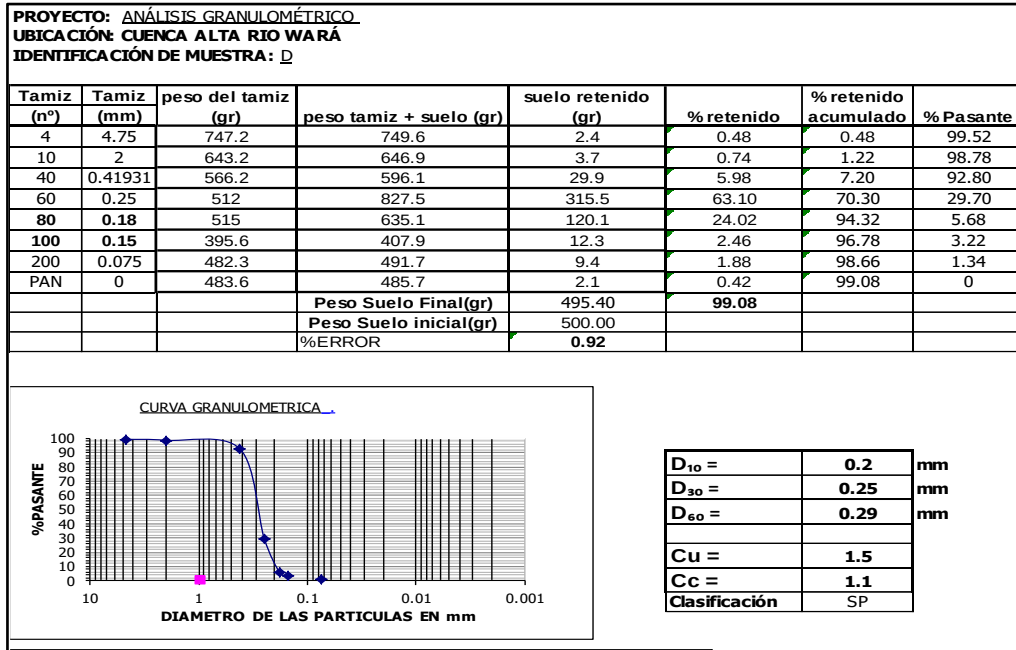


Figura 5.13 Curva granulométrica de la muestra D.

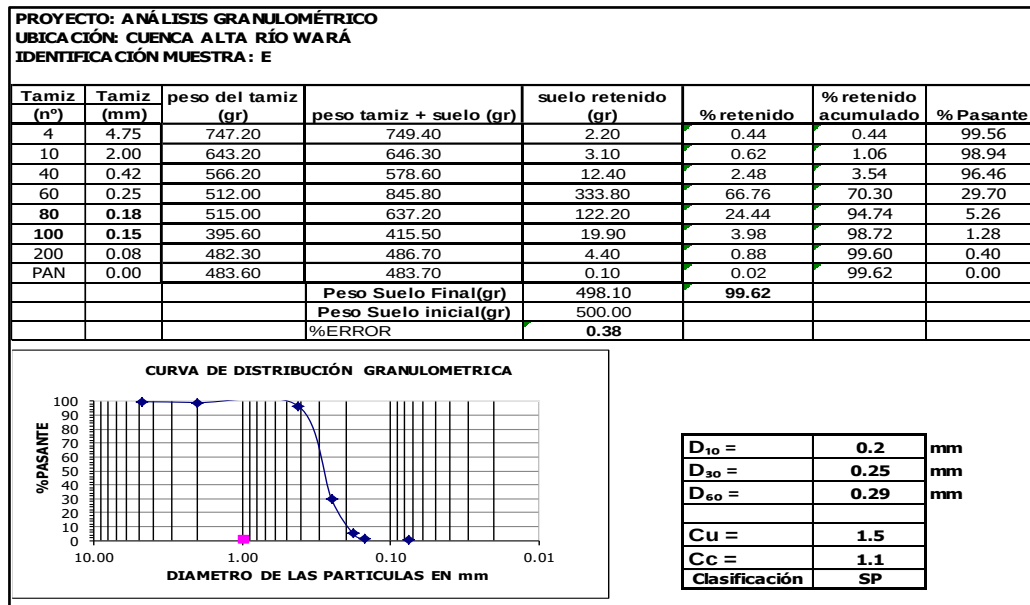


Figura 5.14 Curva granulométrica de la muestra E

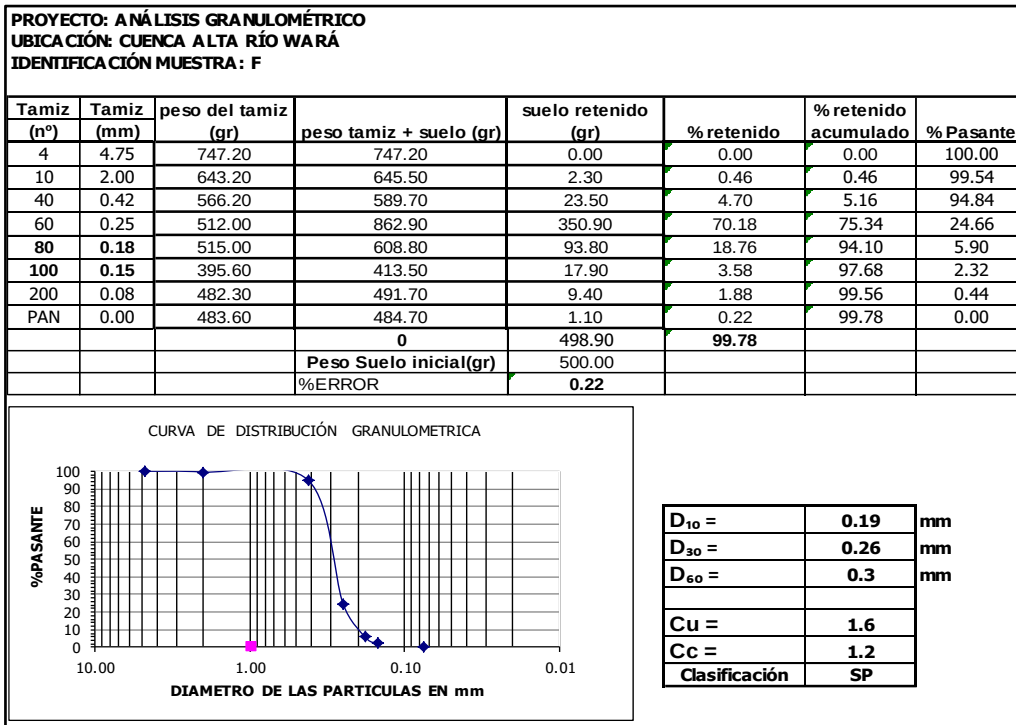


Figura 5.15 Curva granulométrica de la muestra F

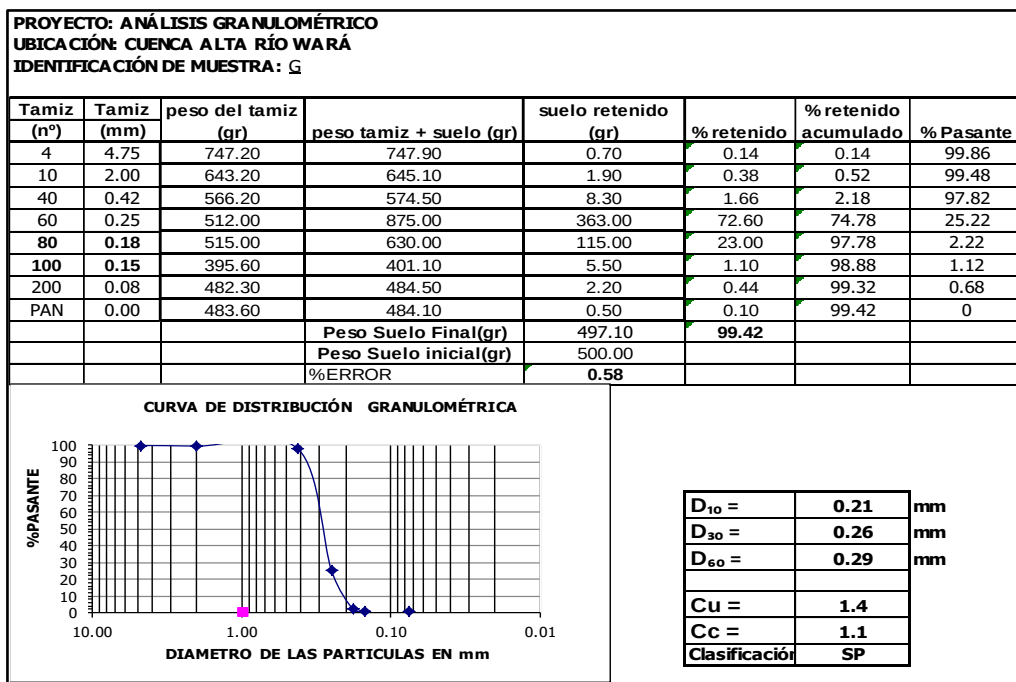


Figura 5.16 Curva granulométrica de la muestra G

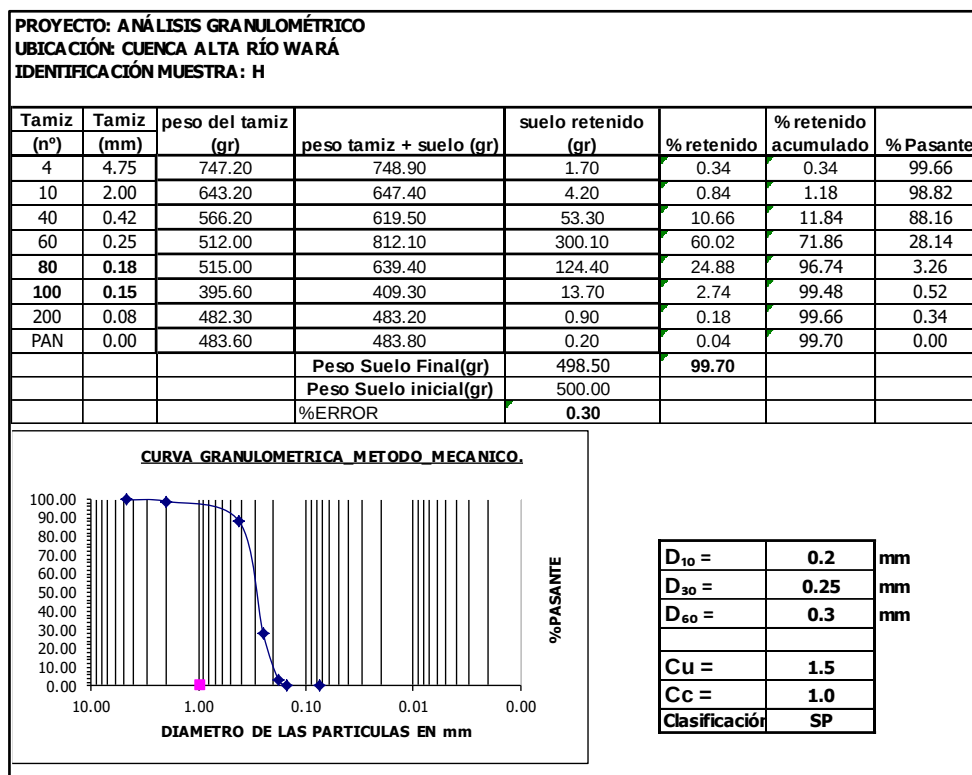


Figura 5.17 Curva granulométrica de la muestra H

5.4 Distribución de los sedimentos que se encuentran en el embalse

Suarez Villar, L. (1993). Indica que la mayor parte de los ríos y torrentes transportan materiales sólidos junto con el agua. En general, el volumen sólido transportado se incrementa de manera muy importante durante las crecientes. Se denomina caudal sólido al volumen o al peso de los materiales sólidos que pasa por la sección transversal de un cauce por unidad de tiempo (p. 3.1).

Las principales causas que contribuyen a la formación del caudal sólido son las siguientes:

- La erosión de la cuenca.
- La erosión del cauce.

c. Los deslizamientos de terreno de las riberas

Asimismo, estas fuentes predominantes de sedimentos se constituyen en el caso del embalse del dique Wará II una variable que limita la cantidad de agua que físicamente se puede almacenar en el vaso de almacenamiento del embalse.

La consecuencia lógica de la sedimentación que se puede observar en la figura 5.18 es que esta se encuentra ocupando, dentro del vaso de almacenamiento del embalse, un volumen o espacio que debería estar ocupado por agua y no por sedimentos.



Figura 5.18 Acumulación de sedimentos en la ribera izquierda del embalse Wará II.

5.4.3 Cuantificación del volumen de azolves dentro del embalse

Para la determinación del volumen de azolves dentro del embalse se utilizará el método del prismóide mediante la sumatoria de volúmenes entre secciones

transversales considerando como límite superior la superficie actual del lecho y como límite inferior la cota reportado como superficie promedio por los diseñadores del embalse (902 msnm).

Para este cálculo se considerarán las secciones transversales construidas y codificadas como 10, 20, 30, 40 y 50. La fórmula de prismóide para el cálculo del volumen entre dos secciones A y B, será:

$$\text{Volumen AB} = ((\text{Area}_A + \text{Area}_B) / 2) \times \text{Distancia AB} \quad (5.1)$$

Donde:

Volumen AB = volumen entre las secciones transversales A y B

Área_A = área de la sección transversal A

Área_B = área de la sección transversal B

Distancia AB = distancia horizontal medida ortogonalmente a los planos de las secciones transversales A y B.

Se presenta en la siguiente tabla 5.8, la aplicación de la fórmula del prismóide donde se observa que el volumen de sedimentos acumulados durante los diez años de operación de la represa alcanzan un volumen de 1645 m³.

Tabla 5.8 Volúmenes entre secciones transversales.

Sección	Area (m2)	Distancia (m)	Vol parcial (m3)	Vol acum (m3)
10	48.6			0
20	37.6	10	431.1	431.1
30	36.4	10	370.3	801.3
40	40.9	10	386.6	1188.0
50	50.5	10	457.0	1645.0

5.5 Movimiento de los sedimentos en la cuenca alta del río Wará

5.5.1 Aplicación del modelo de Hjulstrum

Para la determinación de las velocidades que producirán los distintos tipos de estados del movimiento de los sedimentos se aplicará el modelo de Hjulstrum, el cual requiere el diámetro medio (d_{50}) de los sedimentos, que para el caso en análisis de los sedimentos del lecho del embalse (muestras A, B y C) y del lecho del río Wará en su cuenca alta (muestras D, E, E, F, G y H) se ha estimado entre 0.28 mm y 0.30 mm lo cual permite estimar velocidades de corriente para mantener el movimiento de las partículas entre 21 cm/s y 56 cm/s lo cual se puede observar en la Figura 5.19 siguiendo la línea de trazo segmentado.

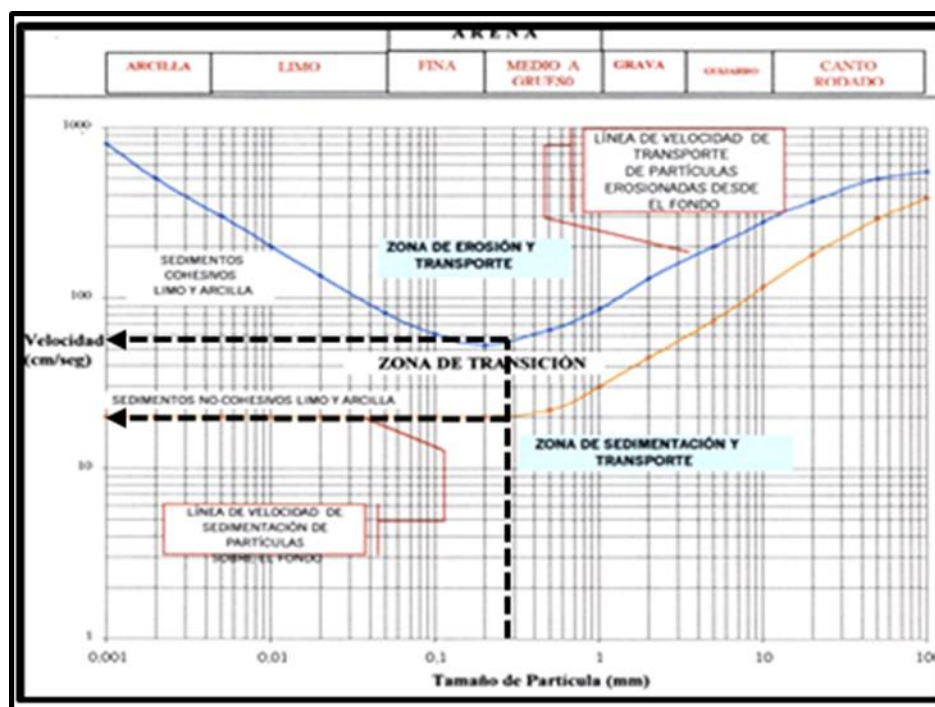


Figura 5.19 Modelo de Hjulstrum aplicado

Obteniéndose los siguientes resultados de velocidades límites para que se produzcan los procesos de sedimentación, transporte o erosión de los sedimentos, según se presenta a continuación en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Velocidades límites para que se produzcan los estados de movimiento de los sedimentos.

Muestras	Velocidad para Sedimentación (cm/s)	Velocidad para Transporte (cm/s)	Velocidad para Erosión (cm/s)
A	≤ 21	$21 \leq x \leq 56$	≥ 56
B	≤ 22	$22 \leq x \leq 58$	≥ 58
C	≤ 21	$21 \leq x \leq 56$	≥ 56
D	≤ 21	$21 \leq x \leq 56$	≥ 56
E	≤ 20	$20 \leq x \leq 57$	≥ 57
F	≤ 21	$21 \leq x \leq 56$	≥ 56
G	≤ 20	$20 \leq x \leq 57$	≥ 57
H	≤ 21	$20 \leq x \leq 56$	≥ 56

5.5.2 Mecanismos de transporte de sedimentos

Una vez construidas las curvas granulométricas basadas en el porcentaje retenido acumulado y trazadas las tangentes a las curvas (Figuras 5.20, a 5.27), se determinan las fracciones de los sedimentos de acuerdo al tipo movimiento mediante el cual se transportan las partículas (tracción, saltación y suspensión).

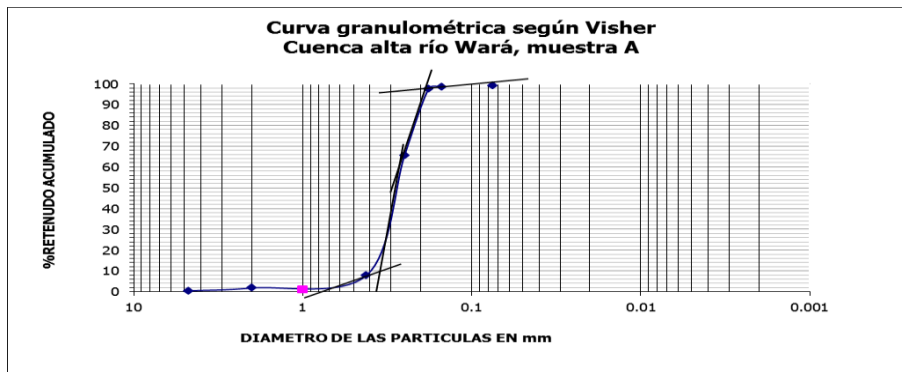


Figura 5.20 Curva granulométrica según Visher para la muestra A.

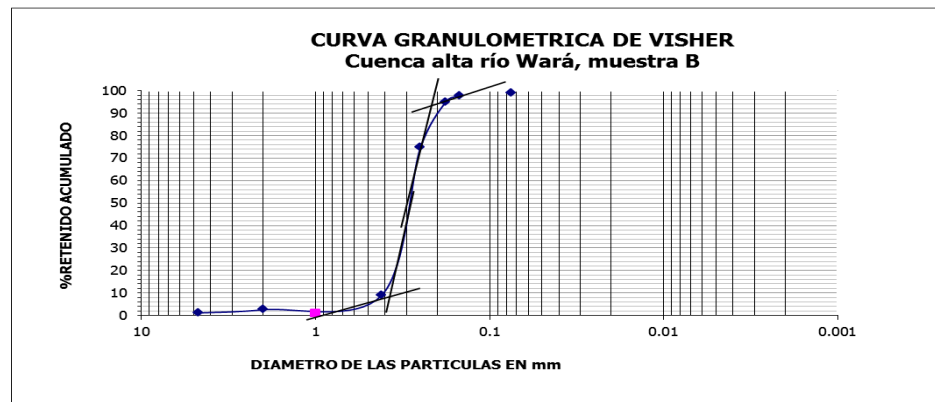


Figura 5.21 Curva granulométrica según Visher para la muestra B.

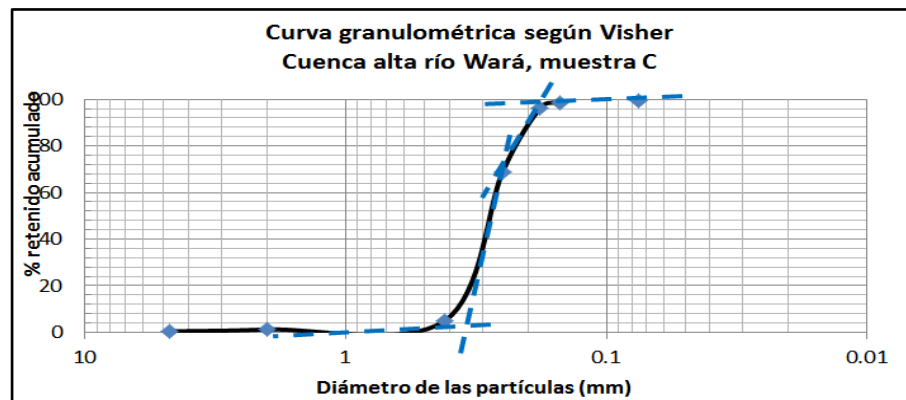


Figura 5.22 Curva granulométrica según Visher para la muestra C.

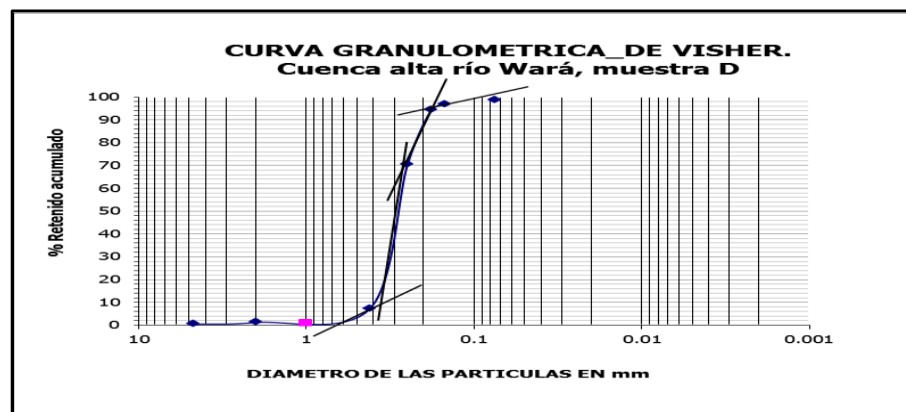


Figura 5.23 Curva granulométrica según Visher para la muestra D.

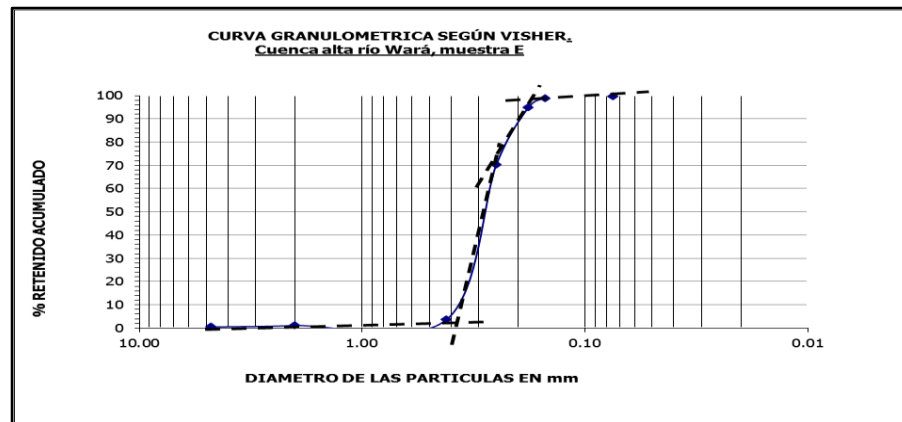


Figura 5.24 Curva granulométrica según Visher para la muestra E.

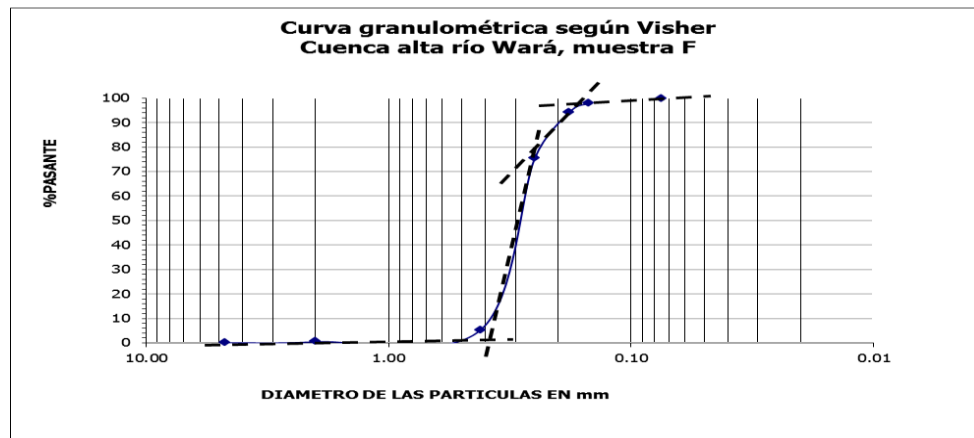


Figura 5.25 Curva granulométrica según Visher para la muestra F.

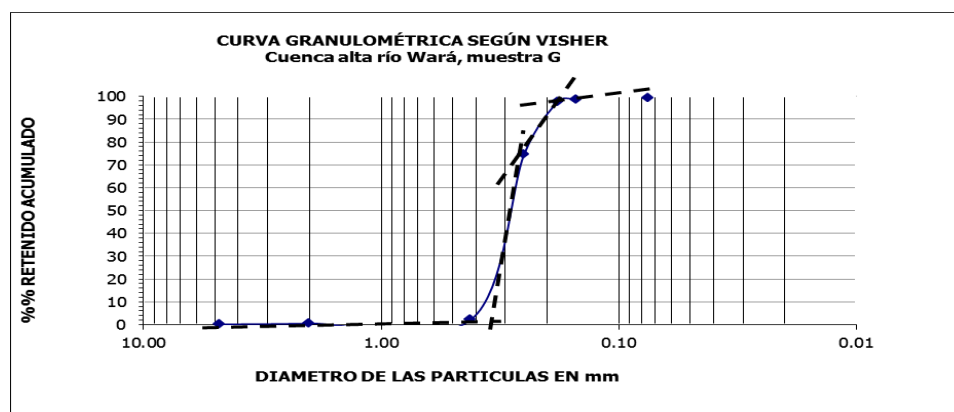


Figura 5.26 Curva granulométrica según Visher para la muestra G.

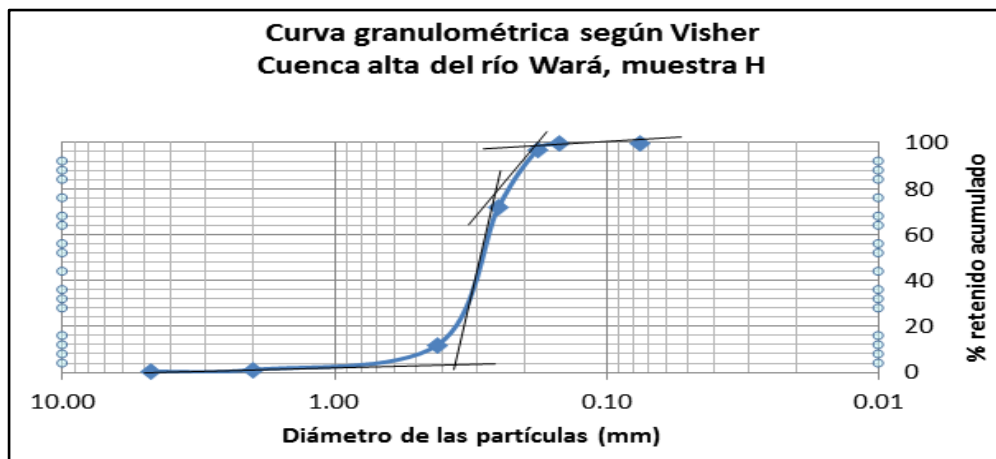


Figura 5.27 Curva granulométrica según Visser para la muestra H.

En ese sentido, se puede observar en la Tabla 5.10 las distintas fracciones de los sedimentos según la modalidad de movimiento mediante el cual se transportan.

Asimismo se puede notar que el mecanismo predominante de transporte ocurre por saltación en un 97%, mientras que las partículas movilizadas por tracción o suspensión oscilan entre el 1% y 5%.

Tabla 5.10 Fracción porcentual que se moviliza de acuerdo al mecanismo de transporte según Visser.

Muestra	Fracción por tracción		Fracción por saltación		Fracción por suspensión	
	Rango diámetros (mm)	%	Rango diámetros (mm)	%	Rango diámetros (mm)	%
A	4.75 a 0.35	2	0.35 a 0.18	97	0.18 a 0.075	1
B	4.75 a 0.39	4	0.39 a 0.21	94	0.21 a 0.075	2
C	4.75 a 0.37	3	0.37 a 0.19	95	0.19 a 0.075	2
D	4.75 a 0.36	2	0.36 a 0.19	93	0.19 a 0.075	5
E	4.75 a 0.36	2	0.36 a 0.18	97	0.18 a 0.075	1
F	4.75 a 0.38	1	0.38 a 0.17	98	0.17 a 0.075	1
G	4.75 a 0.34	1	0.34 a 0.17	98	0.17 a 0.075	1
H	4.75 a 0.36	3	0.36 a 0.18	97	0.18 a 0.075	1

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La cuenca alta del río Wará tiene un área aproximada de 23.60km^2 . Tiene forma oblonga con una ribera derecha cóncava y la ribera izquierda es convexa. Asimismo, el embalse se orienta en forma de arco en sentido general este-oeste desde el dique hacia la cola del vaso de almacenamiento.
2. El vaso de almacenamiento tiene una superficie de $330,60\text{ m}^2$. En su interior, se encuentran evidencias de procesos de erosión en su ribera derecha y deposición de materiales en las adyacencias de la ribera izquierda (156.03 m^3). En base a ello, se concluye que el embalse ha sufrido una sedimentación importante aportada por el río Wará durante los últimos 11 años sin embargo, deberá incluirse en los azolves, aquellos aportados por desplome de los taludes de la ribera derecha.
3. El lecho y taludes del vaso de almacenamiento del embalse Wará II está constituido en gran parte de su extensión por sedimentos aportados por el río Wará constituidos por arenas finas mal gradadas (SP) de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. que constituyen un estrato de unos 0.46 m . El resto de los materiales dispuestos en los taludes desplomados por encima de la cota 904 se corresponden con granulometrías similares.
4. El vaso de almacenamiento muestra evidencia, hacia la ribera izquierda y hasta la cota 904 msnm, de una sedimentación importante acumulada en forma de berma o islote en forma de media luna, que aflora durante los

Períodos de estiaje del río Wará. Por encima, de esta cota se ubican los materiales desplomados de los taludes de la ribera derecha del embalse.

5. Los sedimentos de la cuenca alta del río Wará ameritan velocidades superiores a 56 cm/s para que esta efectúe el esfuerzo cortante mínimo necesario para que se produzca la erosión del lecho, Asimismo, por debajo de velocidades de 21 cm/s los sedimentos que se encuentren en la cuenca alta se depositarán. En conclusión, de acuerdo al criterio de Hjulstrum las partículas requieren velocidades del flujo entre 20 y 56 cm/s para que se mantengan en transporte.
6. De acuerdo al criterio de Visher, los materiales del lecho de la cuenca alta del río Wará utilizan como mecanismo predominante de transporte la saltación, movilizandando aproximadamente entre 95 y 97% de los materiales. El porcentaje restante (entre 3 y 5%) se moviliza por tracción y por suspensión.

Recomendaciones

1. Evaluar la rehabilitación de las profundidades del vaso de almacenamiento Wará II mediante algún método alternativo como el dragado con cucharas bivalvas o el dragado por métodos de succión por bombeo.
2. Se recomienda realizar estudios del movimiento de sedimentos aportados por el río Wará discriminando la sedimentación producida por los procesos de erosión de riberas dentro del río y la producida por desplome de taludes del embalse.
3. Se recomienda a los entes gubernamentales que administran la operación del dique analizar opciones para la estabilización de los taludes sumergidos y aflorantes de la ribera derecha del vaso de almacenamiento de la represa 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.

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. (2002). **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.

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.

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.

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

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.

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) **GRAINSIZE DISTRIBUTIONS AND DEPOSITIONAL PROCESSES.** Vol. 3 Pp 1074 – 1106.

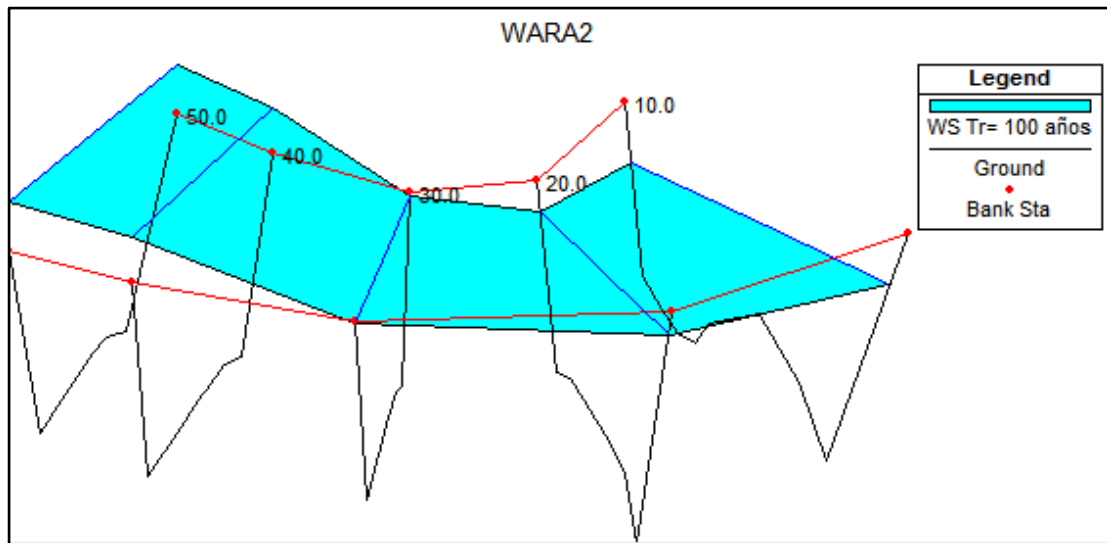
APÉNDICES

APÉNDICE A
DATOS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL DIQUE Y
EMBALSE WARÁ II

A.1 Cálculo de puntos de interés en el dique y embalse Wará II

Est.	Pto	Alt ins	Ang Horizontal				Azimut				Angulo Cenital				Angulo Vertical		h sup	h med	h inf	DI	DH	DV	Cota	PROYECCIONES		COORDENADAS	
	Vist	hi	°	'	"	radianes	°	'	"	radianes	°	'	"	radianes	°	radianes								Norte	Este	Norte	Este
C		1.49																				905.00			511164.00	706790.00	
	D		0	0	0	0.0000	290	0	0	5.0615	92	16	54	1.6106	-2.281667	-0.0398	1.050	1.000	0.965	8.500	8.487	-0.338	905.15	2.903	-7.975	511166.90	706782.03
	c1		271	59	46	4.7472	201	59	46	3.5255	93	15	50	1.6278	-3.263889	-0.0570	1.070	1.000	0.940	13.000	12.958	-0.739	904.75	-12.015	-4.853	511151.99	706785.15
	c2		274	8	17	4.7846	204	8	17	3.5629	91	54	26	1.6041	-1.907222	-0.0333	1.120	1.000	0.880	24.000	23.973	-0.798	904.69	-21.877	-9.804	511142.12	706780.20
	c3		285	33	47	4.9840	215	33	47	3.7623	91	27	5	1.5961	-1.451389	-0.0253	1.155	1.000	0.835	32.000	31.979	-0.810	904.68	-26.014	-18.599	511137.99	706771.40
	c4		285	53	2	4.9896	215	53	2	3.7679	91	27	5	1.5961	-1.451389	-0.0253	1.155	1.000	0.884	27.150	27.133	-0.687	904.80	-21.983	-15.904	511142.02	706774.10
	c5		294	5	0	5.1327	224	5	0	3.9110	91	5	55	1.5900	-1.098611	-0.0192	1.300	1.125	0.950	35.000	34.987	-0.671	904.69	-25.132	-24.341	511138.87	706765.66
	c6		276	53	29	4.8327	206	53	29	3.6109	91	51	59	1.6034	-1.866389	-0.0326	1.095	1.000	0.905	19.000	18.980	-0.618	904.87	-16.927	-8.585	511147.07	706781.42
	c7		304	56	18	5.3222	234	56	18	4.1005	94	0	36	1.6408	-4.010000	-0.0700	1.045	1.000	0.955	9.000	8.956	-0.628	904.86	-5.145	-7.331	511158.86	706782.67
	c8		220	21	0	3.8458	150	20	0	2.6238	104	39	33	1.8267	-14.659167	-0.2559	2.020	2.000	1.980	4.000	3.744	-0.979	903.51	-3.253	1.853	511160.75	706791.85
	c9		220	21	0	3.8458	150	20	0	2.6238	104	39	33	1.8267	-14.659167	-0.2559	2.020	2.000	1.980	4.000	3.744	-0.979	903.51	-3.253	1.853	511160.75	706791.85
	c10		304	7	18	5.3079	234	7	18	4.0862	107	18	57	1.8730	-17.315833	-0.3022	1.025	1.000	0.980	4.500	4.101	-1.279	904.21	-2.404	-3.323	511161.60	706786.68
	c11		256	31	15	4.4771	186	31	15	3.2554	94	1	14	1.6410	-4.020556	-0.0702	2.070	2.000	1.903	16.700	16.618	-1.168	903.32	-16.510	-1.887	511147.49	706788.11
	c12		271	44	40	4.7428	201	44	40	3.5211	93	9	15	1.6259	-3.154167	-0.0551	1.145	1.000	0.855	29.000	28.912	-1.593	903.90	-26.855	-10.711	511137.15	706779.29
	c13		265	29	31	4.6337	195	29	31	3.4120	91	30	34	1.5971	-1.509444	-0.0263	2.105	2.000	1.850	25.500	25.482	-0.671	903.82	-24.556	-6.807	511139.44	706783.19
	c14		279	36	22	4.8801	209	36	22	3.6583	91	37	46	1.5992	-1.629444	-0.0284	2.170	2.000	1.825	34.500	34.472	-0.981	903.51	-29.971	-17.031	511134.03	706772.97
	c15		343	22	57	5.9932	273	22	57	4.7714	103	20	27	1.8036	-13.340833	-0.2328	2.025	2.000	1.975	5.000	4.734	-1.123	903.37	0.279	-4.726	511164.28	706785.27
	c16		345	57	50	6.0382	275	57	50	4.8165	101	17	13	1.7678	-11.286944	-0.1970	1.020	1.000	0.980	4.000	3.847	-0.768	904.72	0.400	-3.826	511164.40	706786.17
	c17		26	45	15	0.4669	316	45	15	5.5284	116	49	59	2.0391	-26.833056	-0.4683	1.045	1.000	0.955	9.000	7.166	-3.625	901.86	5.220	-4.910	511169.22	706785.09
	c18		37	15	4	0.6502	327	15	4	5.7116	119	34	16	2.0869	-29.571111	-0.5161	1.050	1.000	0.955	9.500	7.186	-4.078	901.41	6.044	-3.887	511170.04	706786.11
	c19		55	52	14	0.9751	345	52	14	6.0366	130	54	50	2.2849	-40.913889	-0.7141	1.035	1.000	0.965	7.000	3.998	-3.464	902.03	3.877	-0.976	511167.88	706789.02
	c20		75	28	21	1.3172	5	28	21	0.0955	126	30	27	2.2080	-36.507500	-0.6372	1.050	1.000	0.950	10.000	6.461	-4.782	900.71	6.431	0.616	511170.43	706790.62
	c21		124	53	51	2.1799	54	53	51	0.9581	131	50	36	2.3011	-41.843333	-0.7303	1.035	1.000	0.965	7.000	3.885	-3.479	902.01	2.234	3.178	511166.23	706793.18
	c22		121	29	40	2.1205	51	29	40	0.8987	133	8	14	2.3237	-43.137222	-0.7529	1.045	1.000	0.955	9.000	4.792	-4.490	901.00	2.984	3.750	511166.98	706793.75
	c23		70	49	8	1.2360	0	49	8	0.0143	112	15	27	1.9593	-22.257500	-0.3885	1.075	1.000	0.930	14.500	12.420	-5.083	900.41	12.418	0.178	511176.42	706790.18
	c24		94	51	16	1.6555	24	51	16	0.4338	108	52	23	1.9002	-18.873056	-0.3294	1.065	1.000	0.945	12.000	10.744	-3.673	901.82	9.749	4.516	511173.75	706794.52

APÉNDICE B
MODELO 3D DEL EMBALSE WARÁ II



B.1 Modelo 3D del embalse Wará II

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

Autor(es)

Título	ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
ROJAS RODRIGUEZ KENRRY JOSE MIGUEL	CVLAC	21.109.520
	e-mail	Kenrryrojas00@.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Embalse
Dique
Sedimentación
Levantamiento
Documentación

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Geología	
Ing Geológica	

Resumen (abstract):

La presente investigación se desarrolló en la cuenca alta del río Wará, específicamente aguas arriba de la represa Wará II, en el municipio Gran Sabana, estado Bolívar. El objetivo del estudio es realizar un análisis del movimiento de sedimentos en el tramo del río Wará que alimenta de caudal líquido y caudal sólido al embalse de la represa antes mencionada. 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 permitió describir geomorfológicamente dicha zona. Se realizó la cuantificación de los volúmenes sedimentos contenidos en el embalse con base a la construcción del plano topográfico y de las secciones transversales. Se determinó como es la distribución de los sedimentos que se han depositado durante la vida operativa de la represa. Se tomaron tres (3) muestras de los suelos del lecho del embalse de las zonas críticas que deberán ser profundizadas y se procedió a la clasificación de las muestras de acuerdo al Sistema de Clasificación Unificada de Suelos. Así mismo se tomaron cinco (5) muestras adicionales en el lecho del río Wará, aguas arriba del embalse. Se aplicaron los métodos de Hjulstrum, Van Rijn y Visher para explicar el flujo de sedimentos. Entre los resultados relevantes se concluyó que el embalse posee una cantidad de azolves acumulados en su interior de aproximadamente 1645 m^3 , estando una parte de estos sedimentos acumulados en una berma o isla que aflora durante el período de estiaje hacia la ribera izquierda (o ribera convexa de sedimentación) del embalse hasta la cota de 902 msnm y por encima de este nivel, se encuentra otra parte importante de sedimentos producto del desplome de los taludes de la ribera derecha del embalse. Por otro lado, todas las muestras tomadas del lecho corresponden a arenas mal gradadas (SP). Se presume que la fuente de los sedimentos depositados en el vaso de almacenamiento de la represa Wará II, provienen de la cuenca alta del río Wará y de las evidencias de erosión observadas en los taludes de la ribera derecha del embalse.

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail
Dafnis Echeverría	ROL C ☐ A ☐ T ☒ J ☐
	CVLA
	e-
	e-mail
Beatriz Echeverría	ROL C ☐ A ☐ T ☐ J ☒
	CVLA
	e-
	e-mail
Francisco Monteverde	ROL C ☐ A ☐ T ☐ J ☒
	CVLA
	e-
	e-mail
	ROL C ☐ A ☐ T ☐ J ☐
	CVLA
	e-
	e-mail

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2018	12	13

Lenguaje Spa

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

Nombre de archivo
ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA

Archivo(s):

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: _____

Temporal: _____

Título o Grado asociado con el trabajo:

Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Pregrado

Área de Estudio:

Geología

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

Universidad de Oriente

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

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.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *[Firma]*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

[Firma]
JUAN A. BOLANOS CURVELO
Secretario



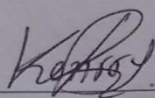
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación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

JABC/YGC/marija

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

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

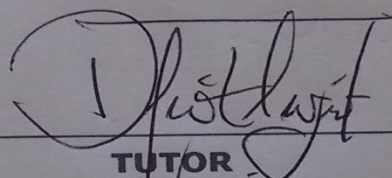
Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo,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



AUTOR

Kenrry J.M Rojas Rodríguez
C.I.: V-21.109.520

AUTOR



TUTOR

Dafnis Echeverría