

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



**PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS DEL RÍO  
ORINOCO EN EL SECTOR JEBURINA. ESTADO DELTA  
AMACURO, VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LOS  
BACHILLERES ACOSTA B.,  
JUAN D. Y GARCÍA A.,  
EDUARD R. PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO  
GEÓLOGO Y GEÓLOGO  
RESPECTIVAMENTE.**

**CIUDAD BOLÍVAR, NOVIEMBRE 2023**



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

**ACTA DE APROBACIÓN**

Este trabajo de grado intitulado: **PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS DEL RÍO ORINOCO EN EL SECTOR JEBURINA. ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA**, presentado por los bachilleres, **ACOSTA BOLÍVAR, JUAN DANIEL**, cédula de identidad N° **22.848.515** y **EDUARD RAFAEL GARCÍA ÁLVAREZ** de cédula de identidad No **26.623.648** como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO GEÓLOGO Y GEÓLOGO** respectivamente ha sido **APROBADO** por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

**Nombre y apellidos**

Prof. Dafnis Echeverría D.  
(Asesor)

Prof. Juan España  
(Jurado)

Prof. Enrique Acosta  
(Jurado)

Prof(a). Berenice Sandoval  
Jefe de Depto. de Ingeniería Geológica

Prof(a) Rosario Rivadulla.  
Jefe de Depto. de Geología

Firmas

Francisco Monteverde S.  
Director de Escuela de Ciencias de la Tierra

En Ciudad Bolívar, a los 28 días del mes de Noviembre de 2022.

## DEDICATORIA

Este gran logro se lo dedico a *Dios* padre todo poderoso por guiarme por el camino del bien, darme las fuerzas necesarias para seguir adelante con mis estudios y poder lograr obtener este título universitario a pesar de los obstáculos que se han presentado en todo momento.

A mis amados padres *Anabel Bolívar* y *Daniel Acosta* por darme los principios y valores que me inculcaron, hoy puedo decir que soy quien soy debido a ustedes; mis desvelos, mis preocupaciones, ustedes las vivieron conmigo por ello infinitamente le doy gracias por el amor, la confianza y el apoyo incondicional que siempre me han dado, este logro también es de ustedes.

A toda mi familia por su apoyo, en especial a mi abuela *Carmen Díaz* por su amor incondicional; a mi hermano *Elian Daniel Acosta* para alentarle al mismo logro de cumplir las metas propuestas en la vida.

A mis compañeros de estudio que siempre estuvieron en esta formación como profesionales por todos los conocimientos y momentos agradables que compartimos.

Juan Daniel Acosta Bolívar.

## DEDICATORIA

Ante todo, a mi Dios todopoderoso, por guiarme y darme la fortaleza para enfrentar los obstáculos y ayudarme a cumplir todas mis metas.

A mis padres, *Lissandro Garcia*, por todo el apoyo brindado y por todo lo que me has enseñado en este arduo camino, a ti, *Vita Alvarez*, por apoyarme desde el comienzo y por creer siempre en mí, por no dejarme desmayar y darme aliento cuanto más lo necesitaba. Muchas gracias padres, lo menos que se merecen.

A ti, *Franneida Palma*, por acompañarme en este trayecto de mi vida y siempre brindarme tu apoyo.

Eduard Rafael García Álvarez.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecido con *Dios*, por haberme guiado a lo largo de la carrera ya que teniendo mi fe puesta en él eh llegado a cumplir la meta; siendo mi fortaleza en los momentos más duros y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad. A mis padres por haberme dado la vida y estar conmigo en los momentos buenos y malos guiándome y protegiéndome en el camino a lo largo de la formación en esta carrera profesional agradecido eternamente.

A la Universidad De Oriente, nuestra casa más alta de oriente, por permitir formarnos como grandes profesionales no sólo académicamente, también social y familiar que, en conjunto, con sus diversidades y complejidades nos han hecho orgullosos de pertenecer a ésta gran casa de estudios, la cual nos ha dado un excelente desenvolvimiento a través profesores con extraordinarias virtudes y conocimientos a enseñar para darnos una formación única a la vida profesional.

Al Profesor y tutor académico *Dafnis Echeverría* por guiarnos durante la realización de este proyecto, invirtiendo su tiempo y paciencia para que este Trabajo de Grado sea de excelencia y de buen nivel profesional.

A mi compañero de tesis por la realización de este proyecto, por su dedicación, compromiso, compañerismo y apoyo en cada uno de los pasos durante la elaboración de este Trabajo de Grado.

Juan Daniel Acosta Bolívar

## AGRADECIMIENTOS

En especial a Dios por estar siempre conmigo y guiarme por el camino de la verdad y el bien.

A mis padres *Lissandro Garcia* y *Vita Alavarez*, por siempre apoyarme y enseñarme que si se puede con esfuerzo y dedicación.

A ti *Franneida Palma*, porque nunca dejaste de creer en mí y me brindaste tu apoyo y cariño.

Al profesor *Dafnis Echeverría*, por su apoyo, colaboración y asesoría en la elaboración en este trabajo de grado

A mi compañero de trabajo de grado *Juan Acosta*, hermano contra todo obstáculo lo logramos.

A mi segunda casa, a la Gran Casa de Estudios La Universidad de Oriente, la casa que me brindo los mejores recuerdos y las más gratas experiencias junto con todos mis compañeros y amigos, que más que amigos son mis hermanos.

Eduard Rafael García Álvarez

## RESUMEN

El objetivo fundamental del presente trabajo de grado consiste en analizar el movimiento de sedimentos que se produce en el lecho del cauce del sector Jeburina, ubicado entre las progresivas fluviales: millas 107 y 112 del canal de navegación del río Orinoco, en el estado Delta Amacuro. La estrategia adoptada para dar respuesta al problema planteado es a través de un diseño documental y de campo. Para la realización de la presente investigación se describió el comportamiento de las corrientes con base a la correlación de los niveles del río, velocidades y caudales con base a los datos que les suministro la CVG Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco (CVG GCNO). Se tomaron muestras del lecho y se describieron texturalmente los materiales del lecho del cauce mediante el análisis granulométrico y el análisis morfométrico de las partículas. Posteriormente, se construyeron las secciones transversales, con información proveniente de levantamientos batimétricos costa a costa. Como resultados relevantes se determinó que los materiales del cauce se corresponden con arenas mal gradadas. Hidráulicamente los niveles del agua varían de acuerdo al ciclo hidrológico de la región es decir ascendiendo en la época de lluvias y descendiendo en la época de sequía. La elaboración de las secciones transversales y del modelo de flujo de sedimentos del cauce permitió observar que las mayores profundidades del sector se ubican en su parte sur, paralela a la concavidad de la ribera. La morfología del cauce permitió suponer que los sedimentos se movilizan siguiendo trayectorias subparalelas a la ribera sur del sector en estudio. Finalmente utilizando el modelo de Visher permitió determinar que los materiales del cauce se mueven siguiendo la distribución; por saltación (97 %), por suspensión (1 a 2 %) y por tracción (1 a 2 %).

# CONTENIDO

	Página
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>CONTENIDO</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	xiii
<b>LISTA DE APÉNDICES</b> .....	xiv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	3
<b>SITUACIÓN A INVESTIGAR</b> .....	3
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Objetivos de la Investigación .....	5
1.2.1. Objetivo General .....	5
1.2.2. Objetivos Específicos .....	5
1.3 Justificación de la investigación .....	6
1.4 Alcance de la investigación .....	6
1.5 Limitaciones de la investigación .....	6
<b>CAPÍTULO II</b> .....	7
<b>GENERALIDADES</b> .....	7
2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio .....	7
2.2 Acceso al área de estudio .....	8
2.3 Geología del área de estudio .....	9
2.3.1 Geología regional .....	9
2.3.2 Geología local .....	11
2.4 Hidrografía y geomorfología del río Orinoco .....	12
2.5 Procesos hidrológicos del río Orinoco .....	14
2.6 Caracterización biótica .....	15
2.6.1 Fauna .....	15
2.6.2 Flora .....	17
<b>CAPÍTULO III</b> .....	21
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	21
3.1 Antecedentes o estudios previos .....	21
3.2 Bases teóricas .....	23

3.2.1 Evaporación .....	23
3.2.2 Precipitación .....	23
3.2.3 Limnigrafos.....	24
3.2.4 Limnímetros.....	25
3.2.5 Limnigrafos de flotador .....	25
3.2.6 Limnímetros de regla vertical .....	25
3.2.7 Limnómetro de cinta.....	26
3.2.8 Limnómetro de aguja.....	26
3.2.9 Limnímetros de aguas máximas .....	27
3.2.10 Medidores de nivel .....	27
3.2.11 Aforo de ríos .....	28
3.2.12. Criterios para el diseño de la estación de aforos.....	28
3.2.13. Accesibilidad a la estación de aforo .....	30
3.2.14 Protección de la estación de aforo frente a avenidas. ....	30
3.2.15 Protección frente a erosiones y aterramientos. ....	30
3.2.16 Facilidad de lectura de escala. ....	31
3.2.17. Posibilidad de aforo directo. ....	31
3.2.18 Adecuación con otras redes de medida.....	32
3.2.19. Adecuación con la normativa medio ambiental.....	32
3.2.20 Adecuación al tipo de explotación y mantenimiento.....	33
3.2.21. Economía. ....	33
3.2.22. Adaptación a la topografía. ....	33
3.2.23 Análisis granulométrico por el método del tamizado .....	34
3.2.24 Forma, redondez y esfericidad.....	35
3.2.25 Representación gráfica de los datos granulométricos.....	38
3.2.26 Mecanismos de transporte fluvial de los sedimentos .....	39
3.2.27 Tipo de régimen.....	41
3.2.28 Régimen de corriente.....	43
3.2.29 Corriente central .....	43
3.2.30 Corriente lateral .....	43
3.2.31 Corriente intermedia .....	43
3.2.32 Movimiento de los sedimentos .....	44
3.2.33 Modelo de Hjulstrum (1935) .....	44
3.2.34 Método de Visher .....	48
3.2.35 Modelo de Van Rijn .....	49
3.3 Bases legales de la investigación.....	51
3.3.1 Ley de aguas .....	51
3.4 Definición de términos básicos .....	53
3.4.1 Barras.....	53
3.4.2 Los sedimentos gruesos (arenas y grabas).....	53
3.4.3 Los sedimentos finos (arenas finas, limos y arcillas) .....	53
3.4.4 Carga de fondo.....	53
3.4.5 Carga en suspensión .....	54

3.4.6 El número de Froude .....	54
3.4.7 Patrón de drenaje .....	54
3.4.8 Caudal .....	54
3.4.9 Saltación .....	55
3.4.10 Suelo .....	55
3.4.11 Estructuras .....	55
<b>CAPÍTULO IV.</b> .....	<b>56</b>
<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO</b> .....	<b>56</b>
4.1 Tipo de investigación .....	56
4.2 Diseño de la investigación.....	56
4.3 Población y muestra de la investigación .....	57
4.3.1 Población de la investigación .....	57
4.3.2 Muestra de la investigación .....	58
4.4.1 Técnicas de recolección de datos.....	62
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos .....	63
4.6 Flujograma de la investigación.....	64
4.7 Procedimiento para el logro de los objetivos específicos.....	65
4.7.1 Describir los parámetros climáticos que afectan el área de estudio .....	65
4.7.2 Correlacionar los parámetros hidráulicos del flujo del río en el sector Jeburina .....	65
4.7.3 Describir texturalmente los sedimentos del lecho del sector Jeburina .....	66
4.7.4 Predecir las características del flujo de sedimentos que se producirían en el sector Jeburina.....	67
4.7.5 Predecir los mecanismos que podrían movilizar los sedimentos del lecho del sector Jeburina.....	67
<b>CAPÍTULO V.</b> .....	<b>68</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>68</b>
5.1 Climatología del sector Jeburina del río Orinoco.....	68
5.2 Características hidráulicas del flujo en el área de estudio .....	70
5.3 Textura de los sedimentos presentes en el cauce del sector Jeburina .....	72
5.3.1 Distribución granulométrica de las partículas .....	72
5.3.2 Análisis de redondez y esfericidad de las partículas .....	75
5.4 Condiciones del flujo que inciden en el movimiento de los sedimentos.....	77
5.4.1 Aspectos geomorfológicos del área de estudio .....	77
5.4.2 Definición de los patrones preferenciales del flujo .....	81
5.4.3 Predicción de la ocurrencia de movimiento de las partículas del lecho en el sector Jeburina .....	82
5.5 Cuantificación de las fracciones de azolves que se movilizarán por distintos tipos de mecanismos.....	85

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**..... 89  
    Conclusiones ..... 89  
    Recomendaciones ..... 90  
**REFERENCIAS** ..... 91  
**APÉNDICES**.....94

## LISTA DE FIGURAS

		Página
2.1	Ubicación relativa del sector Jeburina.....	7
2.2	Delimitación del área de estudio en imagen de satélite Landsat (Google Earth, 2022).....	8
3.1	Principales tipos morfológicos de canales fluviales.....	25
3.2	Patrones de canales según las variables de control.....	26
3.3	Diferentes tipos de barras.....	31
3.4	Mecanismo de transporte y tipo de transporte en función de la granulometría.....	32
3.5	Diagrama de Hjulstrum.....	36
3.6	Perfil longitudinal de un río con selección granulométrica.....	37
3.7	Tipos de transporte de los sedimentos de un río.....	39
3.8	Curvas de distribución de tamaño de grano.....	41
4.1	Flujograma de la investigación.....	47
5.1	Curva de distribución granulométrica de la muestra 1.....	52
5.2	Curva de distribución granulométrica de la muestra 2.....	52
5.3	Curva de distribución granulométrica de la muestra 3.....	53
5.4	Curva de distribución granulométrica de la muestra 4.....	53
5.5	Análisis de forma de las partículas de la muestra 1.....	54
5.6	Análisis de forma de las partículas de la muestra 2.....	55
5.7	Análisis de forma de las partículas de la muestra 3.....	55
5.8	Análisis de forma de las partículas de la muestra 4.....	55
5.9	Correlación Nivel versus Caudal.....	57
5.10	Correlación Nivel versus Velocidad del flujo.....	57
5.11	Sección transversal del lecho 100, .....	60
5.12	Sección transversal del lecho 90, .....	61
5.13	Sección transversal del lecho 80, .....	61
5.14	Sección transversal del lecho 70, .....	61
5.15	Sección transversal del lecho 60, .....	62
5.16	Sección transversal del lecho 50, .....	62
5.17	Sección transversal del lecho 40, .....	62
5.18	Modelo digital del lecho sector .....	63
5.19	Modelo de Hjulstrum aplicado.....	64
5.20	Diagrama de Van Rijn.....	66
5.21	Curva granulométrica según Visher para la muestra 1.....	67
5.22	Curva granulométrica según Visher para la muestra 2.....	67
5.23	Curva granulométrica según Visher para la muestra 3.....	68
5.24	Curva granulométrica según Visher para la muestra 4.....	68

## LISTA DE TABLAS

		Página
2.	Tamaño de las especies arbóreas presentes en el área de estudio.....	1
1		9
3.	Clasificación según el tamaño de las partículas de Wenworth (Pettijohnq,	
1	1949).....	3
.		5
4.	Ubicación de puntos de muestreo de suelos.....	6
1		1
5.	Parámetros climatológicos promedios mensuales, período 1999-2020,	
1	estación Meteorológica Caroní – Macagua (Corpoelec, 2021).....	6
		9
5.	Otros Parámetros climatológicos promedios mensuales, período 1999-	
2	2020, estación Meteorológica Caroní – Macagua (Corpoelec, 2021).....	6
		9
5.	Registro de aforos en la sección Jiburina.....	7
3		0
5.	Parámetros hidráulicos en el sector Jiburina para una condición de aguas	
4	bajas.....	7
.		2
5.	Análisis morfoscóptico de las partículas.....	7
5		6
5.	Datos de las secciones transversales del lecho del río Orinoco en el sector	
6	Jiburina.....	7
.		8
5.	Velocidades límites para que se produzcan los estados de movimiento de	
7	los	8
	sedimentos.....	3
5.	Fracción porcentual que se moviliza de acuerdo al mecanismo de	
8	transporte	según 8
	Visher.....	8

## LISTA DE APÉNDICES

		Página
<b>A</b>	<b>PLANO BATIMÉTRICO DEL SECTOR JEBURINA.....</b>	98
	A.1 Plano batimétrico del sector Jeburina.....	99
<b>B</b>	<b>FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y MORFOSCÓPICO DE LAS MUESTRAS DE SUELO.....</b>	100
	B.1 Pesaje de tamices para el análisis granulométrico según la Norma ASTM D 422.....	101
	B.2 Proceso de tamizado para el análisis granulométrico según la Norma ASTM D 422.....	101
	B.3 Conteo de formas de partículas del suelo a través de la lupa eléctrica para el análisis morfosκόpico.....	101

## INTRODUCCIÓN

El dragado de mantenimiento del río Orinoco es realizado y controlado por el Estado Venezolano a elevados costos. Desde hace varios años los equipos propiedad del Estado se encuentran inoperativos por lo que el dragado de mantenimiento se realiza con equipos contratados internacionalmente. Actualmente, el costo del metro cúbico de sedimento dragado a contratar, oscila aproximadamente entre 2.50 US\$ y 6.00 US\$ (dependiendo de las condiciones del entorno donde se dragará y de los equipos a utilizar); en vista de lo cual, es necesario agotar esfuerzos para optimizar tales operaciones, dada las grandes cantidades de sedimentos (8.000.000 m<sup>3</sup>) que deben ser removidas del lecho del río Orinoco anualmente

En vista de esta situación, se deben agotar esfuerzos para conocer cómo se producen los procesos sedimentarios y de movimiento de los sedimentos, razón por la cual el análisis del movimiento de los sedimentos se ha planteado como objetivo principal de esta investigación. Entre las características del entorno que es necesario considerar se encuentra la: textura de los sedimentos, las condiciones hidráulicas del sector, la geomorfología del lecho, la climatología, entre otros aspectos relevantes de la zona de estudio.

Este análisis permitirá obtener una información más detallada del sector Jeburina en cuanto al desplazamiento de los sedimentos se refiere.

Esta investigación se estructura en cinco (5) capítulos:

En el Capítulo I. Situación a investigar: se plantea la situación del estudio, objetivos generales y específicos, alcances y limitaciones.

En el Capítulo II. Generalidades: se encuentran los rasgos generales del área de estudio, su ubicación geográfica, geología regional, hidrografía y regímenes de corrientes del río Orinoco.

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

El Capítulo IV. Metodología de trabajo: trata sobre la metodología donde se describe el tipo de investigación, su diseño, la población y muestra de la investigación, el flujograma y el procedimiento para el logro de los objetivos.

En el Capítulo V. Análisis e interpretación de resultados: se presentan tabulados y graficados los resultados de la investigación.

Por último, se muestran las conclusiones y recomendaciones relevantes de la investigación.

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1 Planteamiento del problema

Son muchos los ríos en América, que, como el Mississippi, el Amazonas y el Orinoco, conducen en sus flujos bifásicos (agua y sedimentos) que se unen a lo largo de su cuenca y se encauzan para ser depositados a lo largo de sus cauces y/o en sus deltas.

El río Orinoco transporta a lo largo de su cauce alrededor de 400 millones de metros cúbicos anuales de sedimentos (Tippett, Abett, McCarthy, Stratton, E &A, 1970). Estos materiales provenientes de los alrededores de toda su cuenca, son erosionados, transportados y depositados a largo del cauce del río atendiendo a las condiciones hidrodinámicas y geomorfológicas presentes, las cuales varían en el tiempo (ciclo hidrológico anual) y en el espacio (alto, medio y bajo Orinoco).

Ahora bien, la depositación de los sedimentos a lo largo del cauce del río Orinoco dificulta la navegación de grandes buques a través de esta vía fluvial. Por ello, es de vital importancia conocer la dinámica sedimentaria que permita programar las operaciones de dragado de mantenimiento de sus canales en forma racional, y eficiente.

El sector Jeburina del río Orinoco se encuentra ubicado en las millas 107 -112 en el tramo conocido como Bajo Orinoco, específicamente en el tramo sur de su delta en el caño conocido como Río Grande. Este sector ha venido presentando problemas de depositación de azolves en un tramo de cinco (5) millas náuticas de longitud a las cuales se les debe efectuar un periódico y sistemático dragado de mantenimiento anual.

Esta situación se hace evidente con el ascenso de los niveles batimétricos (disminución de profundidades) en su cauce a veces visibles con el emerger o el afloramiento de isletas y bancos de arena cerca de la superficie que se van formando paulatinamente a medida que el río Orinoco disminuye los niveles de la superficie de agua en cada ciclo hidrológico.

En vista de ello, se plantea como problemática de investigación la ausencia de conocimientos integrales profundos sobre los procesos de depositación de azolves en el tramo del río Orinoco conocido como sector Jeburina. En ese sentido, se plantea la necesidad de conocer con mayor detalle todo lo referente a los procesos de movimiento de sedimentos (erosión, transporte y depositación) que ocurren en el mencionado sector, por lo cual cabe plantearse las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuáles son las características climáticas predominantes en el área de estudio que de alguna forma podrían incidir en los flujos de sedimentos en el área de estudio?

¿Cuál es la relación existente entre los parámetros hidráulicos característicos del río Orinoco (niveles del río, velocidad de los flujos y caudales) que se producen en el sector Jeburina?

¿Cómo son las características texturales de los sedimentos que se movilizan y constituyen el lecho del cauce del sector Jeburina del río Orinoco?

¿De qué forma se puede predecir en que momentos del ciclo hidrológico del río Orinoco en el área de estudio se producen los procesos de erosión, transporte y depositación de sedimentos?

¿De qué forma se puede predecir la magnitud de las fracciones de los sedimentos que podrían ser movilizados por mecanismos de carga de fondo (rodamiento o tracción), por saltación o por suspensión?

## **1.1 Objetivos de la Investigación**

### **1.1.1. Objetivo General**

Predecir el flujo de los sedimentos del río Orinoco en el sector Jeburina, estado Delta Amacuro, Venezuela.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

1. Describir texturalmente los sedimentos presentes en el cauce del sector Jeburina del río Orinoco.

2. Correlacionar los parámetros hidráulicos del flujo del río en el sector Jeburina.

3. Describir las relaciones entre la geomorfología del lecho y los patrones preferenciales del flujo

4. Predecir la ocurrencia de los diferentes estados de movimiento de las partículas del lecho

5. Cuantificar las fracciones de los azolves que se movilizarán de acuerdo a los diferentes tipos de mecanismos de transporte

## **1.2 Justificación de la investigación**

La ubicación geográfica pertenece a un ambiente económico donde el porcentaje inflacionario es potencialmente alto, esto incide directamente en el incremento de los costos de las operaciones de dragado de mantenimiento y de balizamiento que deben realizarse en este tipo de zonas. En tal sentido, es pertinente recurrir a herramientas que permitan mantener cierto equilibrio dentro de este marco, ya que el análisis del transporte de sedimentos ha adquirido una importancia capital porque incide directamente en los diseños y dimensionamiento de posibles obras civiles que se vayan a realizar en la zona.

Por consiguiente, con este trabajo de investigación se pretende acrecentar de manera significativa el conocimiento que se posee de esta área de estudio y al mismo tiempo englobar los distintos elementos que permitan favorecer y beneficiar los posteriores estudios o trabajos a ejecutarse en el sector Jeburina.

## **1.3 Alcance de la investigación**

Con el desarrollo de este proyecto de investigación se pretende obtener distintas explicaciones tanto cualitativas como cuantitativas respecto a la dinámica de los diversos procesos que interactúan en el sector Jeburina, esperando extraer toda la información pertinente que permita la comprensión del comportamiento de este sector del río Orinoco, pasando previamente por un exhaustivo análisis desde el punto de vista geomorfológico, sedimentario e hidrológico.

## **1.4 Limitaciones de la investigación**

Para el momento de ejecución de la presente investigación no se han detectado obstáculos o dificultades significativas que dificulten el desarrollo de la misma.

## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio

El área de estudio se conoce como el sector Jeburina y está comprendido entre las millas 107 y 112 de la vía fluvial del Orinoco. Esta zona comprende un tramo del río situado al norte del estado Bolívar, limitado en su extremo occidental por el sector Araguaito, y en su extremo este por el sector Guasina. Se ubica por las coordenadas UTM de meridianos E 642165 y E 649870 y los paralelos N 953650 y N 947980 de (I.N.C, 1997).

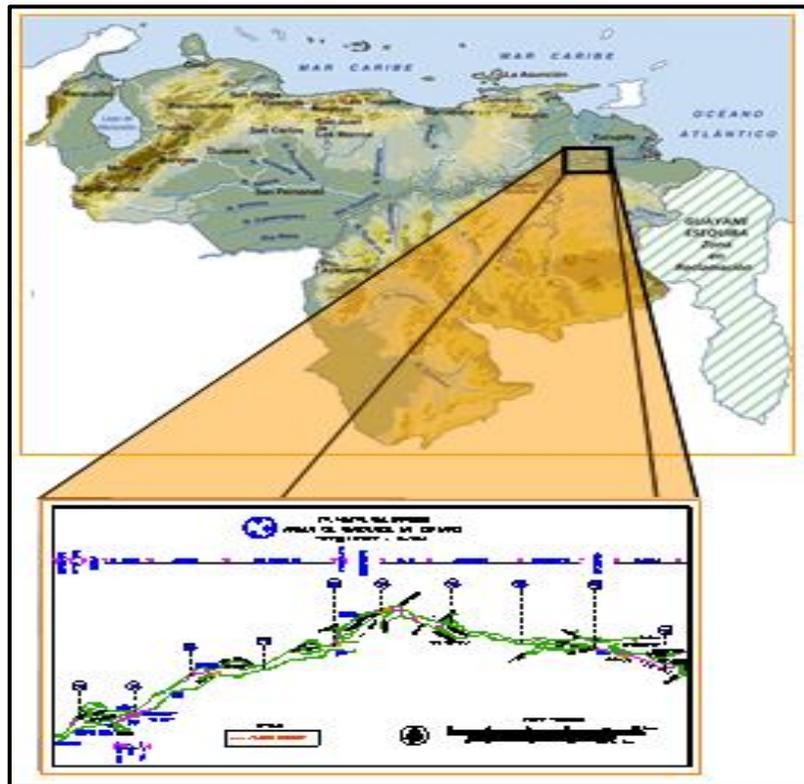


Figura 2.1 Ubicación relativa del sector Jeburina del río Orinoco.

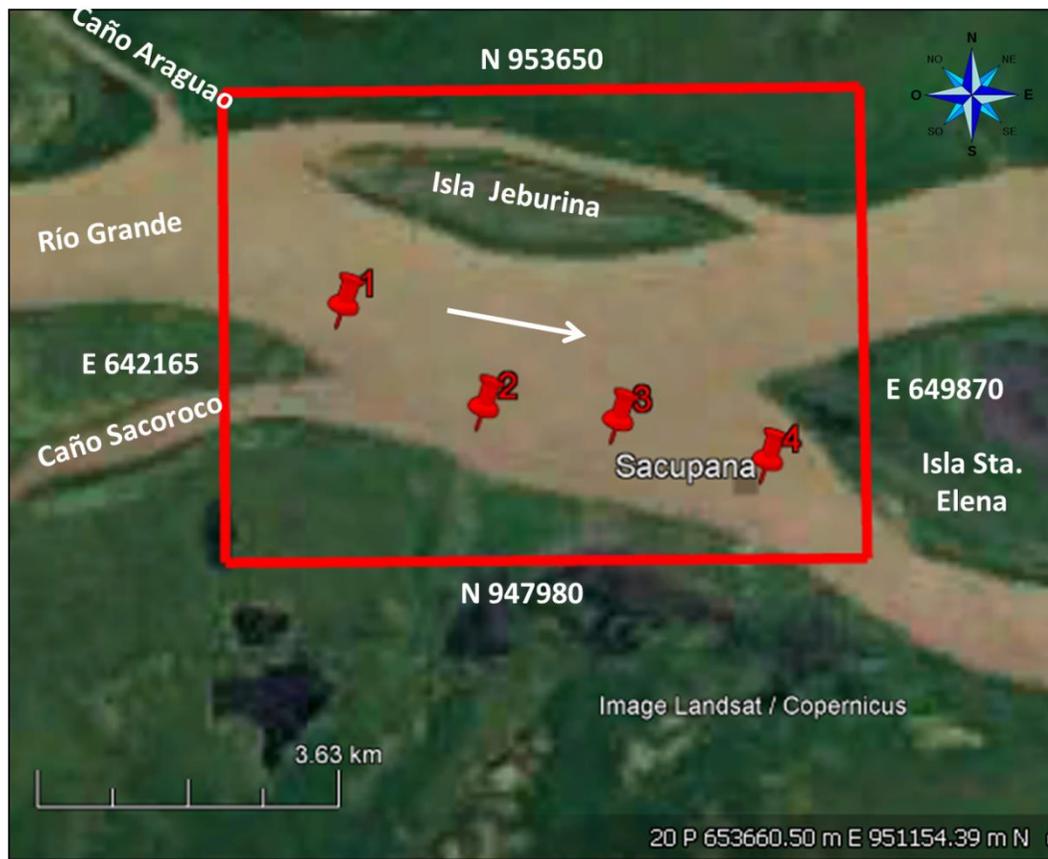


Figura 2.2 Delimitación del área de estudio en imagen de satélite Landsat (Google Earth, 2022).

## 2.2 Acceso al área de estudio

Se puede llegar al área de estudio, desde la población de Barrancas del Orinoco, ubicada en las riberas del río Orinoco, al sur del estado Monagas, y luego a través de vía acuática desde este puerto fluvial, por el citado río a 85 kilómetros aproximadamente al este de esa población.

## **2.3 Geología del área de estudio**

### **2.3.1 Geología regional**

En la región afloran tres (3) unidades lito-estratigráficas bien definidas, limitadas por las rocas del Complejo de Imataca hacia el Sur y hacia el Norte por la Formación Mesa (Pleistoceno) y depósitos aluvionales recientes.

En base a características petrológicas y tectónicas, el escudo de Guayana ha sido dividido en cuatro (4) provincias como son: Imataca, perteneciente al denominado cinturón granulítico, Pastora a los cinturones de rocas verdes, Cuchivero se caracteriza por grandes extensiones de granitos (1800 +- 200 m.a) y granitos post- tectónicos (1500 m.a).

La provincia de Roraima es una cobertura discordante sobre rocas pertenecientes a las provincias de Pastora o Cuchivero (González de Juana *et al*, 1980).

#### **2.3.1.1 Complejo de Imataca**

Es una unidad rocosa, perteneciente al Precámbrico conformada principalmente por gneises graníticos, gneises anfibolíticos, migmatitas, charnockitas y en menor proporción cuarcitas ferruginosas. El grado metamórfico es alto (sub-facies de la granulita piroxénica (C.V.G, 1977).

Las rocas del Complejo de Imataca se localizan en la parte norte del Estado Bolívar, formando un cinturón en sentido Noreste – Suroeste de unos 510 Km de longitud, bordeando el río Orinoco hasta penetrar el estado Amazonas (González de Juana *et al*,1980).

Dado que el suelo residual proveniente de rocas graníticas incrementa su espesor en área que se hallan preservadas de la erosión, es de esperarse que los mayores espesores de suelo residual se encuentren en las depresiones o siguiendo las fracturas de las rocas, en tanto que los menores espesores se encontrarán en la cumbre de las elevaciones, en los terrenos de pendiente pronunciadas o en áreas contiguas a los cursos de agua (C.V.G, 1977).

### **2.3.1.2 Formación Mesa**

Al Norte del área de estudio, en la margen derecha del río Orinoco y especialmente entre los ríos Caroní y Orinoco, aflora una secuencia de capas de edad Pleistoceno asignada a la Formación Mesa la cual está formada por sedimentos de origen fluvial y palustre (Ministerio de Energía y Minas, 1980).

Herdberg y Pyre (1944) introducen este término para designar la formación que cubre las extensas mesas fisiográficamente características en la parte oriental de la cuenca Oriental de Venezuela.

Formación Mesa cubre geográficamente los llanos orientales, Estado Guárico, Anzoátegui, Monagas y Sucre, el espesor máximo mencionado es de 275 m en la mesa de Maturín (González de Juana *et al*, 1980).

Los sedimentos arenosos y areno – limosos de la parte superior no se encuentran consolidados, en tanto que los limos y arcillas inferiores se hallan poco consolidados, o bien consolidados, cuando se trata de algunas arcillas (C.V.G. 1977).

Basándose en estudios realizados tanto en observaciones superficiales como en perforaciones la Formación Mesa sufre una gradación de más gruesos a más finos al alojarse en las cadenas montañosas del norte hacia el sur, y una gradación contraria, es

decir, de más fino a más gruesos, desde la región central de Monagas, también hacia el sur al acercarse al Macizo de Guayana (C.V.G. 1977).

### **2.3.1.3 Depósitos aluviales recientes**

Los sedimentos fluviales recientes se encuentran bordeando el Orinoco y las corrientes principales de Guayana.

Está constituido principalmente por limos, arcillas y arcillas limosas, interestratificados con lentes arenosos. Estos materiales son provenientes de la meteorización de las rocas del Complejo de Imataca y de la Formación Mesa, las cuales fueron arrastradas y depositadas por las aguas de escorrentía y por los vientos a partir del Holoceno hasta el presente, constituyendo las planicies aluvionales y el área de inundación periódica del Orinoco (González de Juana *et al*, 1980)

### **2.3.2 Geología local**

Litológicamente el área de estudio está constituida por sedimentos de río provenientes principalmente del Complejo de Imataca los cuales son depositados en el lecho durante los proceso de erosión, sedimentación y transporte que anualmente realiza el río como parte de los cuatro ciclos que cumple.

El material del lecho recolectado en zonas ubicadas aguas arriba del sector Jeburina, son: olita, Hornblenda, Granate, Andalucita, etc.), lo que permite inferir que los materiales depositados en la zona de estudio son producto en gran medida de la desintegración de las rocas del Escudo Guayanés con un bajo porcentaje de posibilidades de que provengan de las formaciones de carácter sedimentario (Formación Mesa) propio de los llanos venezolanos erosionados de la ribera norte del río Orinoco y acarreados por este hasta la confluencia de ambos ríos.

Es importante resaltar que todas las muestras contienen alto porcentaje de minerales opacos aproximadamente un 91%.

Las arenas presentes en cada una de las áreas de descarga poseen texturas que van de medias a finas con muy poco contenido de limo y materia orgánica. Poseen una permeabilidad variable generalmente alta.

#### **2.4 Hidrografía y geomorfología del río Orinoco**

El río Orinoco en el tramo de interés desarrolla su cauce sobre el borde del Escudo Guayanés, formado por rocas cristalinas de edad precámbrico y limitado por su margen izquierda por aluviones y sedimentos recientes de los Llanos de Venezuela, representa un tramo de 640 km. Situado entre El Jobal, en las inmediaciones de las confluencias del río Suapure, con el río Orinoco y Matanzas en su confluencia con el río Caroní, abarca una extensión comprendida en lo que se ha identificado como el Medio y Bajo Orinoco cuya sección entre los estados Apure y Guárico se conoce geográficamente como el Arco Orinoquence, debido a la inflexión que experimente el canal que drenando de Sur a Norte, gira al Este, para seguir adyacente al Escudo, hasta descargar al Océano Atlántico a través de extenso delta de 30.000 km<sup>2</sup>. El único que ofrece una estructura deltaica dentro de los grandes ríos de Sur América (Instituto de Mecánica de Fluidos, 1998).

En este trayecto el río Orinoco recibe la contribución de numerosos tributarios con características distintas, tanto a lo relativo al comportamiento hidrológico y contraste entre las geologías aportadoras, lo que se refleja en distintas modalidades de relieve, litología, cubierta vegetal, etc., Esto determina a su vez, diferentes formas y suministros sólidos e influencia de los diferentes ríos tributarios, especialmente al considerar el sector del Escudo Guayanés y las áreas geológicamente más jóvenes de las cordilleras de los Andes. Los ríos que drenan cuenca del Escudo Guayanés,

presentan módulo de precipitación más elevados, ello combinado al carácter de las rocas, producen magnitudes superiores de escorrentías; en contraste, los suministros sólidos son relativamente bajos representados por arenas que resultan de la alteración de rocas ígneas y metamórficas (CVG Tecmin, C.A., 2002). .

El río Orinoco posee una cuenca hidrográfica que abarca un área de aproximadamente 990000 km<sup>2</sup> de los cuales 640000 km<sup>2</sup> están en territorio venezolano y 350000 km<sup>2</sup> en territorio colombiano, su longitud es de 2063 km con su nacimiento en el macizo de Guayana y el límite con Brasil en el cerro Delgado Chalbaud, a una altura de 1042 m, sus cabeceras fueron descubiertas 4 siglos y medio después de su desembocadura. El río Orinoco puede dividirse en 4 tramos fluviales: alto Orinoco, que se extiende desde la cabecera en dirección aproximada Este – Oeste hasta el raudal Los Guaharibos en San Fernando de Atabapo; El Orinoco medio, orientado hacia el Norte hasta la desembocadura del río Apure y comprendido desde el raudal de los Guaharibos y el raudal de Atures; El bajo Orinoco, que se dirige francamente al Este, desde el raudal Ature, al Sur de Puerto Ayacucho, hasta el Atlántico donde se abre en un majestuoso abanico Deltaico; Y el Delta del río Orinoco formado a partir de la formación de barranca.

En su cruce principal se encuentra alrededor de 574 islas, afloramientos del basamento cristalino y acumulaciones de sedimentos. Por su Margen derecha recibe unos 95 ríos con 290 subafuentes y por su margen Izquierdo 99 ríos y unos 230 subafuentes más sin contar innumerables riachuelos, arroyos, caños y quebradas (I.N.C. 1990).

El flujo principal de estos ríos es permanente tanto en la época de estiaje o sequía como en tiempos lluviosos o de inviernos, lo cual hace que dichos flujos, en este caso, toman las característica de cargarse excesivamente de sedimentos suspendidos debido al arrastre de los suelos vecinos poco consolidado o desprovistos de vegetación.

En lo que respecta a la morfología y la actividad sedimentaria es muy dinámica, ya que el Orinoco es un río típicamente aluvial, su fondo no es estable y se modifica a la carga de los sedimentos, el caudal y la época del año.

El caudal varía considerablemente en función de los cambios de la pluviosidad, pudiéndose separar los momentos de crecidas o períodos de caudal mayor ligados a estaciones pluviosas y los estiajes o períodos de débil caudal (periodo seco). En general en un área determinada será función sobre todo de la pluviosidad (y de las dimensiones de la cuenca hidrográfica y en menor de la vegetación de la naturaleza de los suelos y del sustrato geológico) (INC, 1990).

## **2.5 Procesos hidrológicos del río Orinoco**

Desde el punto de vista hidrológico, el mecanismo más notable como factor condicionante de evolución de las estructuras de la planicie en el río Orinoco, y el cual se asocia a la forma del hidrograma y magnitud de los caudales generados a partir de una cuenca con una superficie drenada de cerca de un millón de km<sup>2</sup>, refleja en las amplias variaciones de los niveles entre los períodos seco y lluvioso, en particular en la parte media y baja del canal, registrándose variaciones de 11.5 m. en Caicara, 17 m. En Musinacio, (Mapire 16 m. en Ciudad Bolívar y 9 m. en Barrancas situada en el vértice del Delta.

Este comportamiento en la fluctuación de niveles difiere notablemente en observar en otros grandes ríos del mundo (río Amazonas, 8 m en el tramo inferior), y origina mecanismos de erosión – de posición en aéreas de la planicie, así como forma fluvial que adquiere características particulares del río Orinoco tales como : islas fluviales, barras alternadas y de puntas, rizaduras, dunas, afloramientos rocosos, depresiones, rápidos ( raudales), canales laterales activos, segmentos estrangulados de

canales, lagos en media luna (oxbow), espirales de meandros, restos de paleo-cauces o paleocanales, diques naturales y bancos colonizados por vegetación, lagunas y humedades permanentes y estacionales y depósitos de polvos y arena de origen eólico (Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V. 1998).

## **2.6 Caracterización biótica**

### **2.6.1 Fauna**

#### **2.6.1.1 Fauna silvestre**

De acuerdo a la información suministrada por la Fundación La Salle y otros organismos encargados del monitoreo de las especies que habitan en el Estado Bolívar, en especial aquellos que habitan en los territorios del Sur del Río Orinoco, han datado la existencia de 212 especies de mamíferos pertenecientes a 31 familias de las cuales 37 presentan un interés económico y cinegético.

La satisfacción sin embargo; no es completa cuando se constata cinco especies amenazadas, las cuales representan el mayor riesgo de extinción:

- a. *Pteronura brasiliensis* (El Perro de Agua).
- b. *Trichechus Manatus* (El Manatí).
- c. *Podocnemis Expansa* (La Tortura Arrau).
- d. *Crocodylus Intermedi* (El Caimán del Orinoco).
- e. *Lutra longicaudi* (El Perro de Agua Pequeño).

Según el MARNR entre las especies vulnerables podemos citar:

- a. Priodontes Maximus (El Cuspón).
- b. Felis Pardalis (El Cunaguaro).
- c. Felis wiedii (El Tigrito).
- d. Pantera Onca (El Jaguar).
- e. Myrmecophaga Tridactyla (El Oso Hormiguero).
- f. Cacajao Melanocephalus (El Mono Chucuto).

Respecto a las aves existentes, se encuentran en la zona 1.108 especies aproximadamente. No existen aves en peligro de extinción, pero si existen dos especies de aves vulnerables.

En cuanto a las especies vulnerables, podemos citar:

- a. Pipilipe Pipilipe (La Paja Voladora).
- b. Arpia Harpija (El Águila Arpía).

En la zona hay gran variedad de reptiles, los cuales representan el 70% del total de especies de esta clase que habitan en el área. La mayoría de los reptiles residen en los bosques de galería. De estos el más común es la lagartija, pero también abundan las culebras, el mato, la iguana, la baba, las tortugas y el morrocoy; mención especial merece la cascabel enana, la cual es endémica del lugar.

La alimentación de la fauna reptil es fundamentalmente entomófaga (a base de insectos), aunque hay algunas especies herbívoras (iguana y los quelonios) y depredadores de otros vertebrados, como las culebras (Consultora Caura, 1994).

### **2.6.1.2 Fauna íctica**

La ictiofauna del río Orinoco, produce una serie de cambios en el ecosistema ocasionando alteraciones tanto en la fauna como en la flora, producto de los cambios experimentados por los miembros que existen en su entorno, adaptando sus ciclos biológicos a períodos alternos de ascenso y descenso de las aguas del río y los subsiguientes cambios en la disponibilidad de alimentos, hábitat, etc.

Se estima alrededor de 500 especies, la mayoría de ellas realizan movimientos migratorios para diversos fines, tales como reproducción, alimentación entre otros. Como ejemplos podemos citar: *Semaprochilodus Laticeps* (La Zapoara), *Prochilodus Mariae* (El Coporo), *Piaracutus Brachypomun*, y otros que conforman grandes cardúmenes, los cuales se desplazan superficialmente, generando importantes pesquerías a lo largo de su movimiento desde las zonas superior y media del delta.

En el caso de los grandes Bagres como *Brachyplatystoma Filamentosum* (Lau Lau), *Brachyplatystoma Flavicans* (El Bagre Dorado), *Brachyplatystoma Vaillanti* (El Blanco Pobre), *Hypoptalmus Edentatus* (El Bagre Paisano) y otros, el desplazamiento se hace desde el bajo delta en contacto con la zona estuarina y utilizando fundamentalmente el canal principal y las zonas profundas del río para su movimiento (Consultora Caura, 1994).

### **2.6.2 Flora**

Según el informe de CVG TECMIN (1989) la vegetación característica del área en estudio presenta dos (2) tipos de asociación, las cuales se encuentran asociadas al paisaje fisiográfico.

### 2.6.2.1 Asociación de bosques en paisaje de planicie

Las comunidades arbóreas allí establecidas presentan de inundación estacional, determinado por los períodos de crecidas de los ríos Orinoco y Caroní. En cuanto a su estructura presentan una altura media a baja con tres (3) verticales mayor de dos (2) m (Tabla 2.1).

Q93

Tabla 2.1 Tamaño de las especies arbóreas presentes en el área de estudio (C.V.G. Técnica Minera, 1989).

Estrato	Altura	Especie
Superior	( 16 m – 18 m )	Spondia Mombim, Terminalia Amazónica, Lecythis sp, Macrolobium Acaciaefolium y Couepia Paraensis.
Medio	( 8m – 14 m )	Connarus Lambertii, Ph y Llanthus sp, Gustavia Augusta y Duroia Sprucel.
Inferior	( no sobrepasa los 8 m )	Gramíneas de sombra como (Streptostachys Asperifolia) La Palma (Mauritia Flexuosa)

### 2.6.2.2 Asociación de bosques y herbazales en paisaje de planicie deltáica de origen fluvial

El herbazal se caracteriza por presentar un estrato herbáceo denso con individuos arbustivos conformando comunidades.

Las especies herbáceas dominantes de esta comunidad es Montrichardia Arborescens y como acompañantes se tiene: Cyperus Papyrus, Blechnum Serrulatum, Hydrocotyle Umbellata, Rhynchospora Gigantea, Scleria Stipularis, Sagitaria

Guyanensis; se observan algunos arbustos dispersos de *Ludwigia Neruosa* y *L. Leptocarpa*, a su vez algunas trepadoras como *Merranmia Macrocalyx* y *Mikania Micrantha*.

En la planicie cenagosa se localizan áreas ocupadas por formaciones arbóreas conformando bosques rodeados de herbazal.

Las especies arbóreas más abundantes y frecuentes son:

- a. *Erythrina* sp. (Bucare de agua)
- b. *Cecropia Peltata* (Cecropia)
- c. *Spondias Mombin* (Jobo)
- d. *Codia Fallax* (Alatrique)
- e. *Inga Vera* (Guamo)
- f. *Tabebuia* sp. (Apamate)
- g. *Couropita Guianensis* (Coco de mono)
- h. *Cresentia* sp. (Tapara)
- i. *Mauritia* sp (Palma Moriche)
- j. *Ocotea* sp. (Laurel)
- k. *Ceiba Pentandra* (Ceiba)

El sotobosque es de cobertura densa denominado por: Montrichardia Arborescens, Ludwigia sp. (Clavo de Pozo), Erythroxyllum Cumanensg (Clavito) y Combretum Laxum (Guaica) (C.V.G. Técnica Minera, 1989).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes o estudios previos**

Citaremos trabajos previos e información bibliográfica relacionada con el sector en estudio, como por ejemplo:

Tippett, Abbett, McCarthy y Stratton (1970) realizaron un estudio al canal de navegación del río Orinoco que se titula **“INFORME SOBRE EL TRANSPORTE DE MINERAL DE HIERRO DESDE PUERTO ORDAZ AL MAR”** el cual registra los primeros estudios que se realizaron en el canal de navegación del río Orinoco desde el punto de vista ingenieril, así como también diversos datos técnicos que acerca de la navegabilidad del río Orinoco, de igual manera datos referentes al tipo de sedimentos de fondo presentes en el río para la época de su diseño y de algunos factores que rigen su dinámica sedimentaria.

Corona en 1972 realizó un estudio que lleva por nombre **“PROYECTO ORINOCO”** el cual tenía como objetivo fundamental, encontrar las medidas que debían aplicarse al río Orinoco desde Matanza hasta el Atlántico para tener un mejor aprovechamiento del mismo sin perjudicar el desarrollo que pudiese llevarse a cabo en las zonas aledañas al río.

Bermúdez, G. y Echeverría, D. (1990), desarrollaron para la Gerencia Canal del Orinoco del Instituto Nacional de Canalizaciones un estudio titulado **“DETERMINACIÓN DE LA TASA DE SEDIMENTACIÓN EN EL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO”**, los datos sobre las pendientes

estimadas en este estudio abarca al sector Aramaya lo cual es un valioso aporte que será utilizado en esta investigación.

La Consultora Ingeniería Caura, S.A, (1994), realizó el trabajo de investigación titulado “**ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL DRAGADO DE MANTENIMIENTO DEL RÍO ORINOCO. TRAMO MATANZAS-BOCA GRANDE**”, en dicho trabajo se presenta una revisión exhaustiva de las características físicas de los sectores del río incluidos en el tramo Matanzas – Boca Grande, entre dichos parámetros se puede mencionar la flora, la fauna, la geología, el clima, entre otras. (pp120 – 132)

Dichos datos de esa investigación permitirán caracterizar físicamente al sector Los Castillos, el cual es el área de estudio de la actual investigación.

Echeverría, D. y Medina, R. (1992) desarrollaron para el Instituto Nacional de Canalizaciones el trabajo de investigación titulado: **ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS EN EL SECTOR LOS CASTILLOS DEL RÍO ORINOCO, VENEZUELA**. Dicho trabajo tenía como objetivo general evaluar texturalmente los sedimentos del cauce del tramo fluvial mencionado (pp 23-EN43).

Este trabajo también servirá para complementar la investigación que nos ocupa ya que trata aspectos inherentes al comportamiento hidráulico del río Orinoco en ese sector.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Evaporación**

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua presente en el globo terráqueo (océanos, ríos, lagos, suelos, vegetación, etc.) cambia de fase líquida a vapor y regresa a la atmósfera. En relación al ciclo hidrológico el 70% de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación y evapotranspiración. (Fattorelli, 2007).

Las redes climáticas miden frecuentemente evaporación en tanque, temperatura, radiación, viento, humedad atmosférica y presión barométrica. En evaporación hay dos tipos de redes: una de evaporación de cuerpos de agua (lagos, bañados, embalses), y otra de evaporación de tanque (Tipo A) para fines agrícolas ligada a estaciones climáticas para el cálculo de la evapotranspiración. La red básica, debe asegurar datos para evaluar la evaporación en condiciones climáticas diversas: desiertos, zonas húmedas, semiáridas, bosques, áreas bajo riego.

En una red básica a nivel regional o de un país, se calcula la red de evaporación como la “malla básica” pluviográfica, la cual tendrá densidades mayores sobre todo en zonas de montaña. Es importante tener presente que aunque la red sea automática, la estación de evaporación necesita operador permanente o semipermanente, cuando las comunicaciones permitan la atención de varias estaciones con un sólo operador.

### **3.2.2 Precipitación**

Las nubes son arrastradas por los vientos, algunas permanecen sobre los océanos y, otras, son trasladadas hacia los continentes. En estos movimientos pueden enfriarse, por medio de los cuales las gotitas que forman las nubes se pueden agrandar, ya sea porque se juntan entre ellas o porque se aglomeran alrededor de partículas que flotan

en la atmósfera. Al agrandarse, las gotas de agua caen por su propio peso hacia la superficie de la Tierra, provocando las precipitaciones. (Fattorelli, 2007).

Las precipitaciones que se producen con temperaturas sobre 0°C, caen en forma de lluvia. Las gotas de lluvia se congelan si la temperatura es bajo 0°C y la precipitación es en forma de nieve o de granizo, estado sólido del agua. En relación al diseño hidrológico, la lluvia y la nieve tienen mayor importancia.

El análisis de precipitaciones a diferencia del hidrométrico (fundamentalmente lineal), es de carácter espacial. Los conceptos de regiones definidas física y climáticamente son igualmente válidos para estas redes. La regionalización físico-climática se hace con superposición de mapas de cobertura vegetal, isoyetas, evapotranspiración potencial, etc. Existe otro tipo de regionalización, basada en el análisis estadístico de series de tiempo de precipitaciones que sólo es posible cuando existen buenos registros históricos de las variables a medir.

Partiendo del concepto de regiones físico-climáticas la OMM, establece para pluviometría, tres tipos: las regiones planas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales; las regiones montañosas de estas mismas zonas; y las zonas áridas.

Para los dos primeros tipos, es necesario tener presente los casos de escasa población o mala comunicación. En el caso de regiones montañosas, es de gran interés poner estaciones a distintas alturas por la variabilidad que generalmente existe.

### **3.2.3 Limnógrafos**

Son aparatos que registran el nivel del agua en forma continua por medio del movimiento de un flotador.

Es un registro continuo sencillo, el movimiento de un flotador acciona una pluma sobre una carta de registro cuando la pluma alcanza el borde de la carta, su dirección cambia y su registro se hace en sentido opuesto (Meneses, 1980).

### **3.2.4 Limnímetros**

Estos aparatos son sencillos y poco costosos, pero deben ser leídos con frecuencia. Algunas veces, la referencia utilizada es el nivel medio del mar, pero con más frecuencia, se toma como referencia un punto ligeramente por debajo del nivel para el cual la descarga es cero.

El nivel del río, es la información primaria que se obtiene para medir caudales.

### **3.2.5 Limnógrafos de flotador**

Los limnógrafos de flotador utilizan un sistema de flotador para seguir las variaciones del nivel del agua.

Hay dos maneras de instalar los limnógrafos de flotador. La primera es un pozo con caseta de hormigón mientras que la segunda es la instalación del mismo dentro de una tela metálica.

En los ríos tranquilos puede colocarse en cualquier punto. En ríos que erosionen y que transporten troncos y otras materias flotantes, el tubo debe colocarse en una ensenada protegida.

### **3.2.6 Limnímetros de regla vertical**

Son aquellos que se colocan en forma vertical en uno de los tramos del canal (Meneses, 1980). En la instalación de los limnómetros se deben considerar los siguientes factores:

Seguridad de que no se produzcan cambios en su nivel: Se recomienda colocarlos adosados a rocas, pilas de puentes u otras estructuras masivas.

Colocación del limnómetro de manera que no produzca alteraciones en el escurrimiento hidráulico: La colocación de la planta debe ser lo más paralelamente posible a la corriente.

El limnómetro debe leerse con facilidad: Proveerse de facilidades de acceso para que la lectura lleve a cabo con seguridad y comodidad, (Meneses, 1980).

### **3.2.7 Limnómetro de cinta**

En este caso las mediciones se realizan con una cinta graduada desde un punto ubicado en la superficie del agua.

### **3.2.8 Limnómetro de aguja**

Este limnómetro es una variante de los de cinta y aguja, donde un contacto eléctrico indica el momento en que la cinta o barra toca el agua. Son muy empleados en la medición de niveles de pozos.

### **3.2.9 Limnímetros de aguas máximas**

Estos son de tipo especial y son destinados a funcionar solo en las crecidas para registrar los niveles máximos que han alcanzado las aguas, sin tener la necesidad de instalar un limnógrafo.

### **3.2.10 Medidores de nivel**

Según estudios de la EOI, (1987), En las estaciones de aforo se registra generalmente el nivel del agua y su evolución en el tiempo, dato con el que a través del tarado, equivalencia nivel-caudal, se obtiene el caudal y como consecuencia la aportación. La medida del nivel nos permite también la realización de previsiones durante las avenidas, en puntos situados aguas abajo del considerado. En ciertas condiciones la relación nivel-caudal no es biunívoca, por lo que a un nivel no le corresponde siempre el mismo caudal. Esto puede ocurrir en aquellas estaciones que están afectadas por remansos, cosa frecuente en canales, en los que la explotación idónea es la de conducir la cantidad de agua necesaria pero con el nivel máximo posible, para que llegue siempre a las tomas más altas. También en las estaciones de aforo situadas en las proximidades de confluencias o desembocaduras pueden producirse fenómenos de remanso; tienen especial significación los producidos por la influencia de las mareas, al ser periódicos. En estos casos es necesario recurrir a medir además del nivel, otra variable que nos permita determinar cuál es el caudal en cualquier circunstancia. Esta segunda variable es la velocidad del agua en un punto, banda o sección, que sea representativa de la circulación general.

Existen varios procedimientos de medida del nivel de agua, unos realizan la medida desde el exterior de la masa de agua, otros desde el interior y otros desde la superficie.

### **3.2.11 Aforo de ríos**

La finalidad de una estación de aforos es el conocimiento del caudal circulante. Para ello debe de permitir realizar el registro del nivel y la medición directa del caudal o aforo directo para cualquier nivel registrado. En algunas instalaciones con condiciones especiales se realiza también la medida de la velocidad del agua.

El registro del nivel de las aguas, es el dato continuo o casi continuo, referido a la escala limnimétrica, que nos permite establecer el nivel medio diario y el nivel máximo mensual, para luego obtener datos de caudales que finalmente se transforman en la estadística de niveles, caudales y aportaciones. También posibilita el seguimiento y la previsión en avenidas.

Los aforos directos, medidas directas de caudal a un determinado nivel, son los datos discontinuos que nos permiten establecer la relación altura-caudal basada en valores realmente medidos y el ajuste de los parámetros a utilizar en las fórmulas de extrapolación para el cálculo de esta relación en grandes alturas no aforadas directamente. La relación altura-caudal posibilita la obtención de caudales continuos o casi continuos a partir de los datos registrados de niveles, para el periodo de tiempo durante el que tiene validez; este procedimiento permite obtener la estadística de caudales y aportaciones. Cuando por las especiales circunstancias de la estación de aforos no exista relación biunívoca entre la altura y el caudal, se recurre además a la medida de la velocidad del agua, posibilitando así la determinación fidedigna del caudal circulante.

### **3.2.12. Criterios para el diseño de la estación de aforos**

En este punto se analizan diversos criterios que proporcionan orientaciones sobre el diseño final de la estación de aforos.

### **3.2.12.1 Fidelidad.**

El nivel registrado en la escala y en los aparatos de captación de datos debe de ser representativo de la circulación general y por lo tanto del caudal circulante en cualquier circunstancia.

La tipología de la estación debe de propiciar que los niveles en pozo o en el punto de captación del dato no resulten alterados por el oleaje, por las perturbaciones localizadas, por el paso de remolinos arrastrados por la corriente de agua o por una inadecuada comunicación del punto de registro con el río.

### **3.2.12.2. Sensibilidad.**

Se deben de poder detectar cambios mínimos en el nivel y por lo tanto en el caudal, según los requerimientos. La variación de un centímetro en el nivel no debe de producir un incremento inaceptable en el caudal. En general se toma el centímetro como variación mínima practica en la medida de los niveles. Estos cambios se detectan con un adecuado diseño de los vertederos, de manera que al variar un centímetro la altura, se produzca un incremento de caudal dentro de la precisión esperada.

### **3.2.12.3. Estabilidad.**

La circulación de las aguas en la estación de aforos debe de realizarse en régimen lento, evitando siempre la posibilidad de cambio de régimen, ya que para el paso de régimen rápido a lento se tiene que producir resalto hidráulico, presentándose en general el resalto ondulado, lo que origina una situación en la que no existe relación biunívoca entre la altura y el caudal. Se debe de limitar la pendiente longitudinal en el tramo de la estación para evitar circulaciones en régimen rápido.

### **3.2.13. Accesibilidad a la estación de aforo**

La tipología de la estación debe de permitir un fácil acceso a la misma en todas las circunstancias, incluso en situaciones de avenida. La facilidad en el acceso a las distintas partes de la instalación debe de considerarse para evitar impedimentos o dificultades en la utilización por el personal de servicio. Se debe de acceder a la estación al menos por un camino para todoterreno. El acceso desde el punto de aparcamiento a la caseta y desde esta al lugar de lectura de la escala, debe ser fácil y mínimo, y el acceso al pozo y a los vertederos, debe de presentar las mínimas dificultades posibles.

### **3.2.14 Protección de la estación de aforo frente a avenidas.**

El diseño debe de tener en cuenta la circulación de los máximos caudales para que no sufran daño las distintas instalaciones y fundamentalmente los elementos de registro, que no deben de quedar inservibles por resultar sumergidos o afectados por las aguas, con lo que se pueden perder datos de gran valor. Los elementos flotantes y los arrastrados por el agua deben de tenerse en cuenta en el diseño para permitir su paso sin que se produzcan retenciones, sin que se alteren los datos y sin que se produzcan daños. Su estancamiento con obstrucción de la sección de desagüe produce alturas de agua anómalas, que falsean los datos de caudal real circulante. La caseta y la pasarela deberán situarse por encima de las máximas avenidas históricas, o por encima de la avenida de cien (100) años de período de retorno. Los vertederos no deben de tener muros ni muretes separadores. Se proyectarán únicamente los muros necesarios para apoyo de la pasarela con luces libres de al menos quince (15) metros.

### **3.2.15 Protección frente a erosiones y aterramientos.**

La sección de desagüe no debe de variar con el tiempo, para que el tarado de la estación permanezca lo más estable posible durante la vida útil de la misma y se pueda tener una relación biunívoca altura-caudal. El lugar elegido para la estación debe de ser estable. El diseño no debe de permitir que se altere ni el fondo ni la pendiente por erosión o aterramiento y no debe de resultar alterada ni degradada la obra de fábrica que controla el desagüe.

### **3.2.16 Facilidad de lectura de escala.**

La escala en la que se leen los niveles de agua es la esencia de la estación de aforos. Todos los aparatos de registro deben de coincidir con el valor de su lectura. La facilidad de lectura de la escala es primordial para el correcto funcionamiento de la estación.

La escala debe de colocarse de manera que las oscilaciones del agua resulten amortiguadas en su entorno y que su observación sea fácil, cómoda y se visualice sin inconvenientes. La colocación de la escala debe de realizarse entre la puerta del pozo y a pasarela, balconcillo o puente que ocupe una sección análoga a la de la pasarela. La escala puede colocarse en otros lugares siempre que no aparezcan lecturas diferenciales con el registro del pozo y que su lectura y conservación sean fáciles.

### **3.2.17. Posibilidad de aforo directo.**

La única forma de garantizar que el tarado de la estación es el adecuado, y no se están generando datos falsos, es la realización de aforos directos que deben de ser contrastados con los datos del tarado vigente para su validación o corrección.

La tipología elegida debe de contemplar la incorporación al diseño de los elementos que permitan realizar aforos directos en cualquier circunstancia de

circulación de agua. La realización de aforos directos se facilita si se incorpora al diseño un perfil vadeable o un andador para realizar con precisión los aforos de aguas bajas y una pasarela o un teleférico, sobre una sección en donde el flujo sea lo más uniforme posible. También se pueden realizar los aforos directos en una sección próxima en la que circule el mismo caudal, tales como vados o puentes.

### **3.2.18 Adecuación con otras redes de medida.**

La existencia de estaciones de otras redes de medida, como la de información de la calidad del agua, la de información hidrológica automática, la de control de aguas subterráneas, u otras, puede permitir la unificación de soluciones y la utilización de elementos estándar.

Se recomienda realizar unas estaciones de aforo de propósito general y compatibilizar los usos de las estaciones para conseguir una mejor economía, así como unificar la tipología de todos los elementos posibles.

### **3.2.19. Adecuación con la normativa medio ambiental.**

La construcción de una estación de aforos debe ser respetuosa con el medio natural, minimizando su impacto negativo, por lo que se evitará su colocación en parajes en los que se produzca impacto sobre el medio natural o socioeconómico apreciable. Las principales afecciones de la construcción de una estación son la tala de árboles, la afección a las riberas, el impedimento en los desplazamientos de la fauna acuícola, y el impacto de la caseta de equipos y la pasarela en el entorno. La tipología de la estación tiende a concentrar los caudales circulantes en un vertedero sensible que en su final presenta un salto reducido de unos 30 centímetros de altura, que puede ser superado con facilidad por los peces.

No obstante debe de estudiarse en cada caso las necesidades en función de las especies existentes. La revegetación de los taludes y la plantación de especies arbóreas que den sombra a los canales y vertederos, es una práctica recomendable para evitar el nacimiento de algas en las superficies de hormigón bajo las aguas.

### **3.2.20 Adecuación al tipo de explotación y mantenimiento.**

Los recursos disponibles para la explotación y mantenimiento de la estación pueden obligar a realizar diseños más desarrollados en determinados aspectos que cubran ciertas deficiencias posteriores, aun con pérdida de otras cualidades o con un coste económico superior. Es importante conocer el tipo de instrumentación a instalar, para incorporar al diseño los elementos necesarios que permitan el buen funcionamiento de los sensores que captan las distintas variables. Por ejemplo, si se utiliza el sistema de boya y contrapeso, el diseño debe de incorporar un pozo vertical.

### **3.2.21. Economía.**

La disponibilidad económica puede obligar a un tipo determinado de obra civil. La instalación puede consistir desde una simple escala colocada adecuadamente, instalación muy económica, hasta un largo tramo canalizado, con vertederos, pozo de registro, caseta para alojar los equipos de medida y pasarela o teleférico para realizar aforos directos, instalación muy costosa.

### **3.2.22. Adaptación a la topografía.**

La topografía del tramo o del lugar en el que hay que realizar la estación de aforos puede obligar a determinado tipo de solución.

En tramos con grandes secciones y poca pendiente, solamente se puede realizar una obra marginal; en tramos con sección pequeña o encajada y fuerte pendiente, se puede realizar una instalación completa.

### **3.2.23 Análisis granulométrico por el método del tamizado**

El análisis de granulometría se utilizó para determinar la variación del tamaño de los granos de los sedimentos.

Los resultados del mismo servirán para determinar la competencia y eficiencia del agente de transporte, así como también en caso de ser este último el agua, la mayor o menor proximidad de la roca generadora (Pettijohn F, 1970).

En el análisis de granulometría consiste en separar y clasificar a través de un juego de tamices, para lograr separar en forma cuantitativa las proporciones en peso de las partículas de diferentes tamaños que existen en cada muestra.

La tabla de clasificación según el tamaño de las partículas de Wentworth (Tabla 3.1), es la más comúnmente usada para el análisis de sedimentos (Pettijohn, 1949).

Tabla 3.1 Clasificación según el tamaño de las partículas de Wenworth (Pettijohn, 1949).



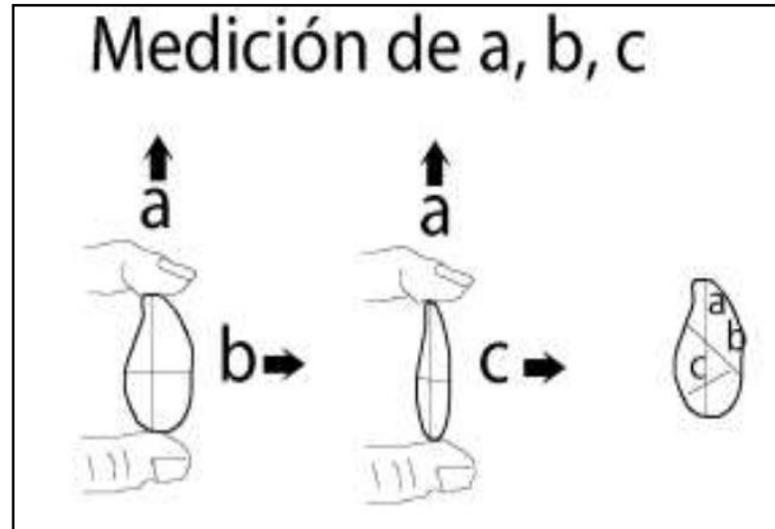


Figura 3.1 Medición de rodados y la posición de los ejes mayor (a), intermedio (b) y menor (c) (Krumbein, 1941 en Pettijhon, 1957, 1970).

La forma de las partículas ha sido usada para tratar de interpretar su historia de transporte. Esta depende de muchos factores como:

1. Forma de la partícula en la roca al ser liberada por los procesos de meteorización.
2. Composición y estructura química de las partículas, estas le van a conferir mayor o menor resistencia a los agentes de meteorización.
3. Dureza, fractura y clivaje de las partículas sedimentaria.
4. Tamaños de las partículas.

### 3.2.24.2 Redondez

La redondez, es la propiedad geométrica de las partículas que nos ayuda a interpretar por medio de un análisis morfológico, la historia geológica de los sedimentos, basándonos en la clasificación comúnmente usada como lo es la clasificación de Pettijohn (1980). Podemos resumir esta clasificación en lo siguiente (Figura 3.7).

1. Angulosos (0-0,15 mm): el desgaste se presenta muy poco o ninguno, siendo sus aristas y vértices agudos.

2. Sub-angulosos (0,15 - 0,25 mm): muestran los efectos típicos del desgaste. Los fragmentos mantienen todavía su forma primitiva

3. Sub-redondeados (0,25 - 0,40 mm): muestran considerable desgaste, las aristas y los vértices están redondeados en curvas suaves y la superficie de las caras primitivas se encuentran bastante reducidas, pero se mantiene todavía la forma primitiva del grano.

4. Redondeados (0,40 - 0,60. mm): caras originales 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 pulido hasta curvas suaves y amplias.

5. Bien redondeados (0,60 - 1,00 mm): sin caras originales, sin aristas ni vértices, la superficie consta totalmente de curvas amplias, carece de áreas planas y de aristas secundarias. La forma original se reconoce por la forma actual del grano.

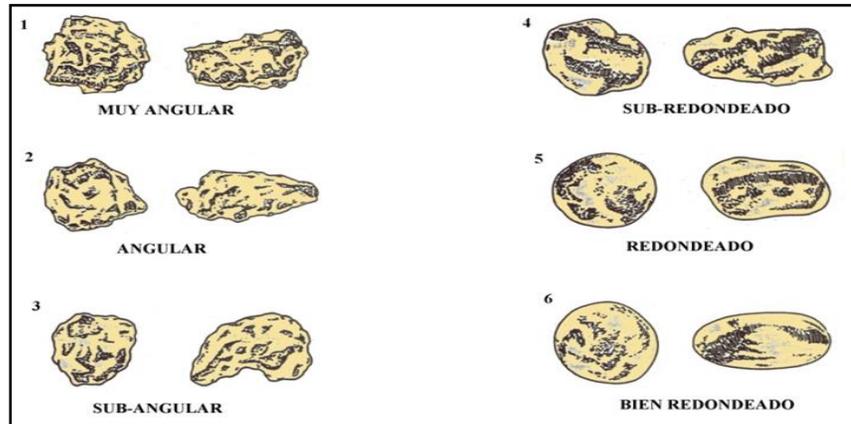


Figura 3.2 Forma y redondez de los granos (Modificado Redrawn, 1953).

### 3.2.24.3 Esfericidad

Se define como el grado en que un elemento clástico se aproxima en su forma a una esfera (Wadell, 1932), por lo tanto define el comportamiento dinámico de la partícula.

### 3.2.25 Representación gráfica de los datos granulométricos

Los datos granulométricos fueron representados gráficamente para su fácil comparación. Los gráficos utilizados son: Histograma de frecuencia, Curva de frecuencia simple, Curva de frecuencia acumulativa (Phi) (Lambe, 1981).

#### 3.2.25.1 Histograma de frecuencia

En el histograma se representan la frecuencia con que aparecen las partículas entre ciertos tamaños.

Su gráfica facilita la comprensión y visualización de la granulometría de un sedimento. Se realizaron histogramas de frecuencia con el fin de caracterizar la distribución de cada muestra (Lambe, 1981).

### **3.2.25.2 Curva de frecuencia simple**

Para construir la curva de frecuencia consiste en unir los puntos superiores de cada barra. La escala horizontal se hace logarítmica (Lambe, 1981).

### **3.2.25.3 Curva de Frecuencia Acumulativa Phi**

La curva de frecuencia acumulativa emplea papel aritmético, colocando en el eje horizontal los términos de la escala Phi y en el vertical, los porcentajes de 10 a 100%; para mayor claridad suele colocarse también en la escala horizontal, los equivalentes de la escala de Wentworth y en micrones los términos de Phi.

Para hacer los puntos de la curva, se tomaran los valores en micrones de las aberturas de tamices entre los cuales queda cada porción, se hallan los equivalentes Phi por medio de la curva de conversión, y se colocan estos valores en el eje horizontal.

En cada uno de estos puntos se levanta una ordenada hasta el valor del porcentaje acumulado correspondiente.

Uniéndolos estos puntos se obtiene la curva de frecuencia acumulativa (Lambe, 1981).

### **3.2.26 Mecanismos de transporte fluvial de los sedimentos**

Los mecanismos de depósitos están principalmente ligados a los procesos fluviales; una corriente es capaz de transportar partículas de diferentes tamaños, según sea la corriente y la densidad del material, habrá una distribución de zonas diversas de la sección del cauce.

Los sedimentos gruesos son transportados por tracción sobre el fondo, se desplazan manteniendo contacto con el fondo del cauce bien sea por rodamiento, deslizamiento o por saltación. Estos sedimentos se acumulan en las zonas donde las corrientes son más rápidas, en los canales y a veces también sobre las barras, cuando quedan cubiertas en períodos de crecidas. A este conjunto de materiales transportados se les denomina carga de fondo (Figura 3.3). (Allen y Segura, op. cit).

Los sedimentos finos (arenas finas, limos y arcillas) son transportados, en suspensión, es decir mantenidas por elementos ascendentes del flujo en los turbulentos remolinos de la corriente, superponiéndose verticalmente (agradación). Esta fracción de materia que se sitúa en el toque de las barras y sobre las orillas (depósito de desbordamiento), se les denomina cargas en suspensión (Figura 3.3). (Allen y Segura, op. cit).

La relación entre estas dos componentes para un río dado, es un parámetro importante puesto que condiciona la configuración del canal y el tipo de depósito. Durante cada crecida hay un ciclo de erosión y de depósito de sedimentos. Cuando el caudal aumenta la velocidad crece y los canales se erosionan a fin de acomodarse al caudal más elevado. Cuando el caudal decrece los sedimentos se depositan, primero los más gruesos en los canales y después las arenas sobre las barras (Allen y Segura, op. cit).

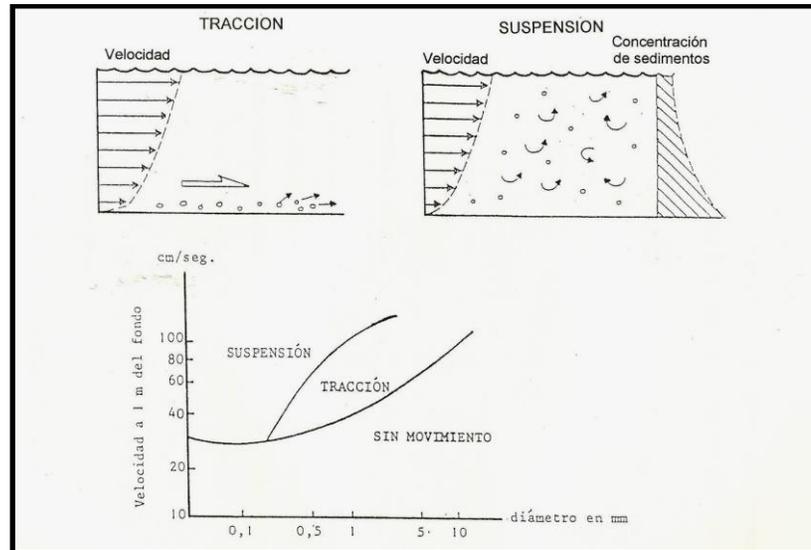


Figura 3.3 Mecanismo de transporte (arriba), tipo de transporte en función de la granulometría (Miall, 1978).

### 3.2.27 Tipo de régimen

El desplazamiento del agua en una corriente puede hacerse según dos tipos de régimen de flujo:

- a. Laminar.
- b. Turbulento.

En el flujo, las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves definidas por líneas de corrientes.

En el flujo turbulento las partículas de agua se mueven en trayectorias irregulares, que no son suaves ni fijas, pero en un conjunto todavía representan el movimiento hacia delante de la corriente entera. (Allen y Segura, op. cit).

La existencia de un tipo u otro tipo de régimen depende fundamentalmente de la velocidad de la corriente. El pasó de un régimen laminar o turbulento se produce cuando la velocidad alcanza un determinado valor que se obtiene por la ecuación de Reynolds (Allen, 1965):

$$R = \frac{\text{FUERZA DE INERCIA}}{\text{FUERZA DE FRICCIÓN}} = \frac{V \cdot r}{u} \approx 500 \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde:

R = Número de Reynolds

V = Velocidad media de la corriente (pie/s)

r = Radio hidráulico del canal

u = viscosidad cinemática (pie/s).

El flujo turbulento en canales abiertos esta determinado por el número de Reynolds en el rango de  $500 < Re < 2000$  (Allen, 1977). Existen cuatro regímenes de flujo en un canal abierto: subcrítico, supercrítico laminar, subcrítico turbulento, supercrítico turbulento.

Cuando el flujo es descrito como supercrítico  $Fr > 1$  y cuando se describe como subcrítico  $Fr < 1$  ( $Fr$  = el número de Froude). En una sección dada de un cauce la velocidad de la corriente no es uniforme en todos sus puntos, ya que el agua en contacto con el fondo y las paredes, sufren retardo por fricción. Estas características de la corriente van a jugar un papel muy importante, no sólo en el tipo de sedimento que pueden ser transportados, sino también con las estructuras que se desarrollan con los materiales del fondo.

### **3.2.28 Régimen de corriente**

La velocidad de la corriente del río Orinoco es muy variable y además depende la altura significativamente que posean las aguas. De manera tal, que la corriente es muy poco apreciable a simple vista, en los meses de Marzo y Abril, cuando el río tiene su mínimo nivel. Pero por el contrario, la corriente se hace muy rápida y veloz, para los meses de Julio, Agosto y Septiembre, cuando las aguas del río alcanzan su altura máxima. (Allen, op. cit).

### **3.2.29 Corriente central**

La corriente central; es decir, la corriente natural del río que marcha superficialmente a razón de 8 Km /hrs (2.22m/s). (Bueno, 1981).

### **3.2.30 Corriente lateral**

Una corriente lateral próxima a la ribera derecha, la cual posee un movimiento muy veloz superior en rapidez, el doble del anterior, pero es solamente de tipo local. La misma marcha a una velocidad aproximada de 18 Km/hr (5 m/s). (Bueno, op. cit).

### **3.2.31 Corriente intermedia**

Esta corriente está situada entre la corriente central y lateral. Es menos veloz que las anteriores y marcha a razón 6 Km/hr ó 1.66 m/s. en términos generales en época de lluvia las corrientes procedentes de direcciones con una componente. Este predomina, mientras que en época de sequía las procedentes de direcciones con una componente Oeste son dominantes.

Las componentes de las corrientes asociadas a la generación por acción directa de los vientos dan lugar a un transporte de masas de agua hacia direcciones entre el noreste y el sureste en los meses de sequía. En la época de lluvia, la menor frecuencia de las direcciones asociadas a la acción del viento es atribuible a la disminución en la intensidad de los vientos alisios. (Bueno, op. cit).

### **3.2.32 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.

### **3.2.33 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 3.4) (Allen, 1965).

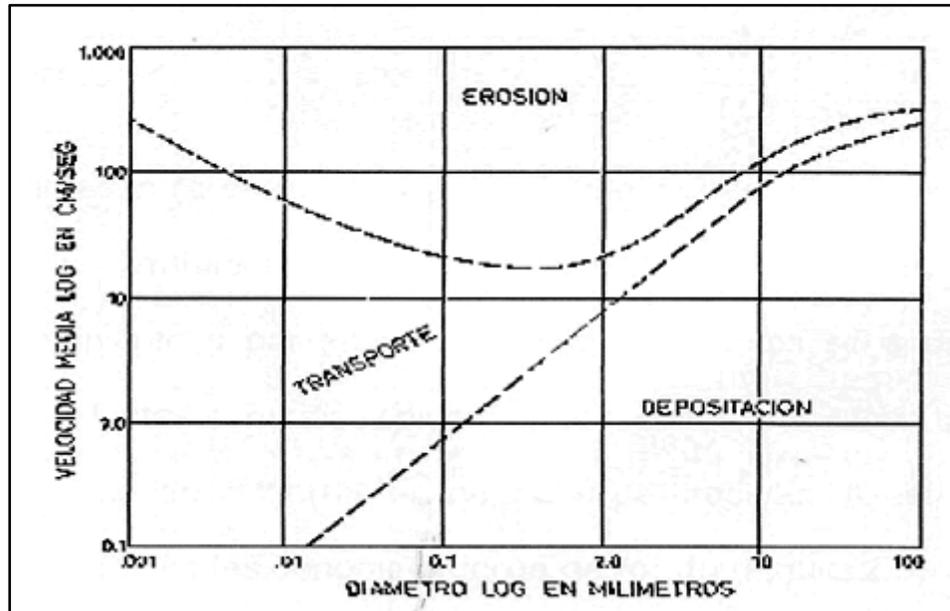


Figura 3.4 Diagrama de Hjulstrum (1935). (Allen, 1965).

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

Consecuentemente a velocidades de corrientes va disminuyendo o el diámetro de materiales en transporte o depositados va siendo menor. Este fenómeno designa por selección granulométrica esta bien evidenciada en la Figura 3.5 (Reineck y Sing 1990).

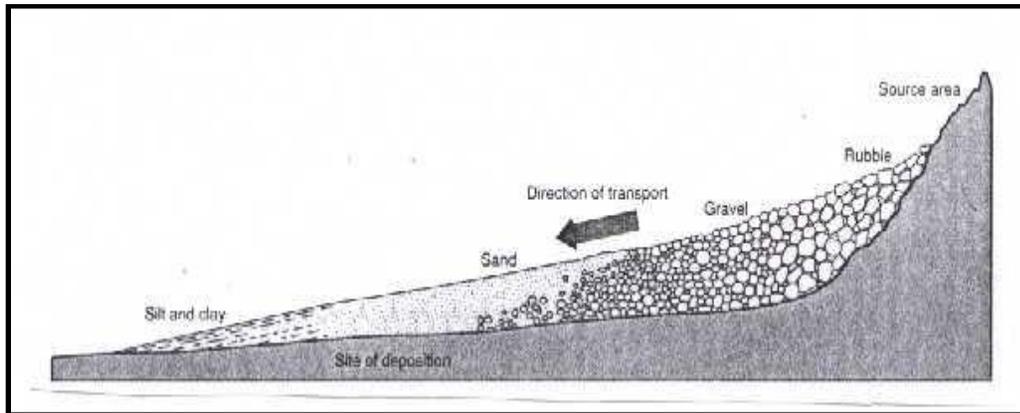


Figura 3.5 Perfil longitudinal de un río, evidenciando una selección granulométrica (Reineck y Sing, 1990).

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

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

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

Este muestra que para los sedimentos más finos, la arcilla requiere una velocidad de corriente mayor para provocar erosión en las arenas. Este fenómeno se debe

principalmente a la forma de las partículas arcillosas y a las fuerzas electrostáticas entre ellas. (Reineck y Sing , op. cit).

Las cargas eléctricas de la superficie de las partículas provocan una atracción entre ellas, dando origen a una masa cohesiva que resiste la erosión. Algunas dimensiones, densidades y formas de los sedimentos también determinan el tipo de transporte efectuado. Una carga solida transportada por un curso de agua puede ser asi mismo subdividida en carga de fondo, carga de suspensión y carga de saltación. Una carga de fondo constituye sedimentos gruesos y densos que son transportados sobre o próximos al lecho del río e influye el transporte por tracción y saltación. Un transporte por tracción sobre el fondo del lecho puede ser subdividida en dos tipo: 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 Alcala, 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 rio. Constituye asi mismo, un transporte intermedio entre tracción y suspensión.(Figura 3.6).

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

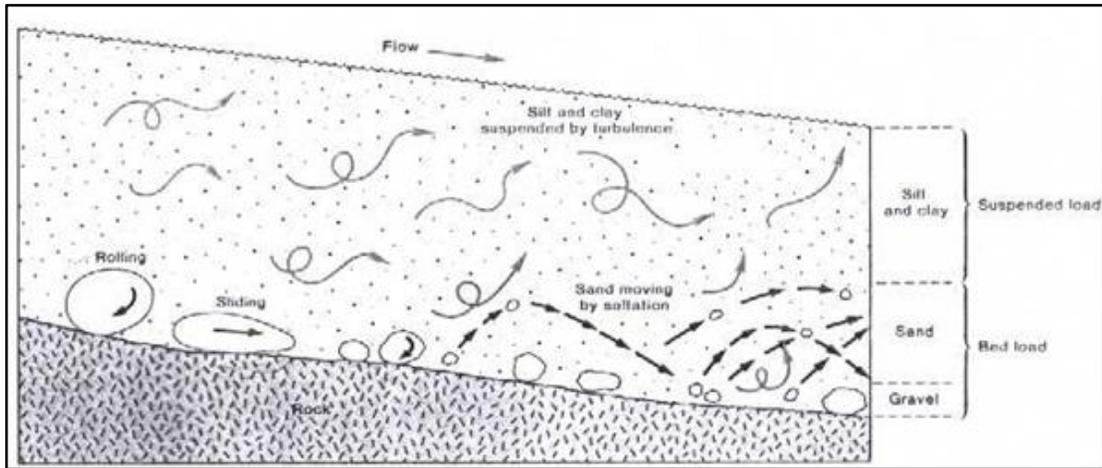


Figura 3.6 Tipos de transporte de los sedimentos de un río. (Reineck y Sing, 1990).

### 3.2.34 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 3.7 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 tamaño de granos en rocas sedimentarias.

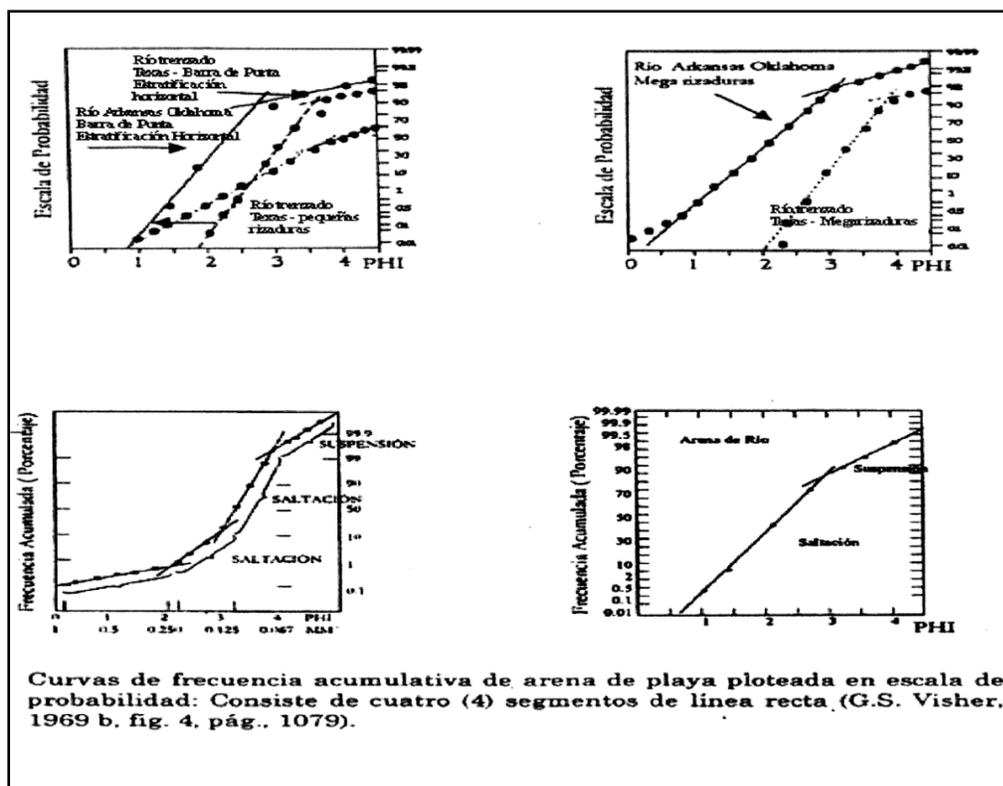


Figura 3.7 Curvas de la distribución de tamaño de grano (Modificado de Visher, 1969).

### 3.2.35 Modelo de Van Rijn

Según Van Rijn, L. (1993) determina que el movimiento de una partícula ocurre cuando la fuerza del fluido sobre la partícula, esta justamente a lo largo de la fuerza de

fricción la cual está relacionada con el peso de la partícula sumergida y el coeficiente de fricción. Las fuerzas cohesivas son importantes cuando el material de lecho esta constituido por una cantidad apreciable de partículas de arcillas y limo. (Figura 3.8.)

Determina mediante la siguiente fórmula:

$$\theta_{cr} = \tau_{b,cr} / ((\rho_s - \rho)g d_{50}) \quad (3.2)$$

$$D^* = ((S - 1)g / v^2)^{1/3} d_{50} \quad (3.3)$$

$$\tau_{b,cr} = \rho \cdot h \cdot I \quad (3.4)$$

$$\theta_{cr} = 0.14 D^{*-0.64} \quad \text{Si } 4 < D^* < 10$$

$$\theta_{cr} = 0.04 D^{*-0.1} \quad \text{Si } 10 < D^* < 20$$

$$\theta_{cr} = 0.013 D^{*0.29} \quad \text{Si } 20 < D^* < 150$$

Donde:

S= densidad relativa

$\theta_{cr}$ = Parámetro crítico de Shields.

$D^*$ = Parámetro de la partícula

$\tau_{b,cr}$  = El tiempo crítico promedio.

$\rho$  = Densidad del agua.

$\rho_s$  = Peso específico del material del lecho.

g = Gravedad.

$d_{50}$ =Diámetro medio de las partículas.

$h$ = Profundidad del agua.

$I$ = Pendiente hidráulica.

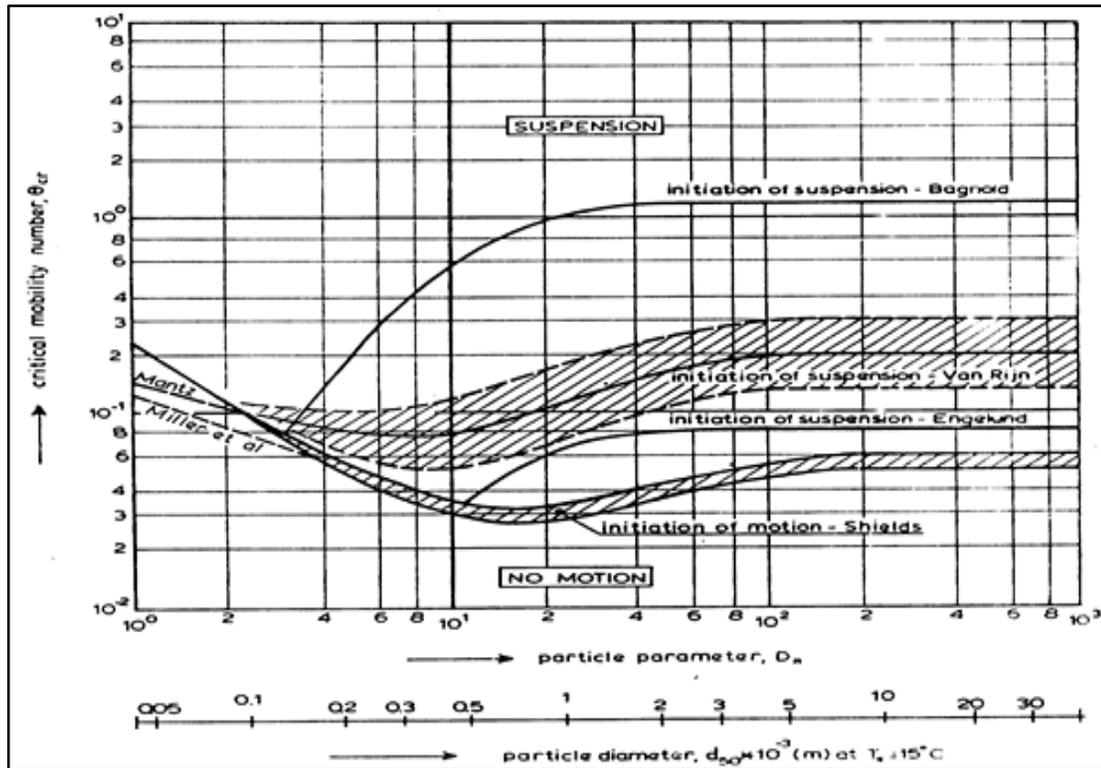


Figura 3.8 Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho (Van Rijn, L. 1993).

### 3.3 Bases legales de la investigación

#### 3.3.1 Ley de aguas

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

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

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

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

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

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

4. La elaboración y ejecución .de programas maestros de control y manejo de los cuerpos de agua, donde se determinen las relaciones causa-efecto entre fuentes contaminantes y problemas de calidad de aguas, las alternativas para el control de los efluentes existentes y futuros, y las condiciones en que se permitirán sus vertidos, incluyendo los límites de descargas máxicas para cada fuente contaminante y las normas técnicas complementarias que se estimen necesarias para el control y manejo de los cuerpos de aguas.

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

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

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

#### **3.4.1 Barras**

Las barras son sedimentos típicos de un río con meandros que se forman por migración lateral del meandro, ya sea en una llanura aluvial o en una llanura deltaica. (Rodríguez y Ferrer, 1998).

#### **3.4.2 Los sedimentos gruesos (arenas y grabas)**

Son transportados por tracción sobre el fondo, se desplazan manteniendo contacto con el fondo del cauce bien sea por rodamiento, deslizamiento o por saltación. (Rodríguez y Ferrer, op. cit).

#### **3.4.3 Los sedimentos finos (arenas finas, limos y arcillas)**

Son transportados, en suspensión, es decir mantenidas por elementos ascendentes del flujo en los turbulentos remolinos de la corriente, superponiéndose verticalmente (agradación). (Rodríguez y Ferrer, op. cit).

#### **3.4.4 Carga de fondo**

Es un conjunto de materiales transportados. (Rodríguez y Ferrer, op. cit).

### 3.4.5 Carga en suspensión

Fracción de materia que se sitúa en el toque de las barras y las orillas (depósito de desbordamiento). (Rodríguez y Ferrer, op. cit).

### 3.4.6 El número de Froude

Cuando el flujo es descrito como supercrítico  $Fr > 1$  y cuando se describe como subcrítico  $Fr < 1$ . (Rodríguez y Ferrer, op. cit).

### 3.4.7 Patrón de drenaje

Define la configuración que ofrece el canal o el conjunto de estos, cuando se observa el mapa, vistas o fotos aéreas. (Rodríguez y Ferrer, op. cit).

### 3.4.8 Caudal

Definida como el volumen de agua que atraviesa una sección transversal de la corriente por unidad de tiempo. Se expresa en metros cúbicos por segundo, la carga se puede obtener utilizando la velocidad y multiplicándola por el área A de la sección transversal que expresado en forma de la ecuación es:

$$Q = A \cdot V \dots \dots \dots (3.7)$$

Dónde:

Q= Caudal

A= Área de la sección (Chow, 1994).

### **3.4.9 Saltación**

Es un tipo de transporte que se desarrolla generalmente de sedimentos y se caracteriza por una serie de saltos sobre el lecho del río. (Rodríguez y Ferrer, op. cit).

### **3.4.10 Suelo**

Se puede definir como el material no consolidado o semiconsolidado compuesto de la mezcla de partículas de diferentes tamaños, minerales, compuestos litológicos, cantidades y clases de materias orgánicas. Los cuales se encuentran sobre la superficie terrestre como son: guijarros, arenas, limos, arcillas, materiales turbosos, etc. La capa superficial de la tierra rica en material orgánico, se designa con el nombre de capa vegetal. Los suelos derivan de las rocas que por los procesos geológicos (tectonismo) originan que la roca sea fracturada o plegada luego por los procesos de alteración se originan los suelos. (Rodríguez y Ferrer, op. cit).

### **3.4.11 Estructuras**

Depositación y orden de las partes de la corteza, es decir, los diferentes plegamientos de la corteza. En el sentido geológico se habla de estructuras macizas, sedimentarias, plegadas, falladas, etc. (Rodríguez y Ferrer, op. cit).

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **4.1 Tipo de investigación**

La presente investigación pretende llevar a cabo un exhaustivo análisis mediante técnicas que consisten en la recolección de muestras y de la descripción del comportamiento hidrológico de la zona, para de esta manera, una vez obtenidos los resultados predecir cuales son los tipos de movimientos que ocurren en los sedimentos del río Orinoco en el sector Jeburina y en que momento del ciclo hidrológico estos se producirán.

Según Canales (1996), dentro de su clasificación, este tipo de investigación estaría basada en estudios descriptivos y explicativos, ya que se describirán los hechos tal cuales se observan en campo. Por otra parte, abarcará un estudio de tipo predictivo, pues busca predecir las situaciones futuras que se presentarán con base a los hechos explicados, estableciendo relaciones de causa- efecto.

#### **4.2 Diseño de la investigación**

La estrategia a utilizar está enmarcada dentro de la clasificación como una investigación de campo, según Arias, F. (1999), ya que la misma consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna.

En el presente caso se considera que la investigación es de campo puesto que se tomarán muestras de suelos del lecho del río en el sector Jeburina. Asimismo se

efectuarán observaciones sobre el relieve, la vegetación de las riberas, entre otros detalles del entorno.

Por otra parte, se afirma que esta investigación es también documental porque según Arias, F. (1999), se efectúa la revisión, análisis y procesamiento de los parámetros y de las variables dependientes registradas en material documental impreso o en formato digital que se encuentre disponible.

Se revisarán y analizarán los datos meteorológicos registrados y almacenados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) correspondientes a las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio. También se consultarán y se utilizará material cartográfico generado por el Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”, también planos batimétricos y cartas de navegación elaborados por la CVG Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco (antes Instituto Nacional de Canalizaciones -INC).

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

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

Según Arias, F. (1999), la población o universo se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación.

En el presente caso se considerará como población de la investigación a todo el cuerpo de agua que transita por el sector Jeburina y a todos los materiales de suelos presentes en el lecho y en suspensión del río en dicho sector. En vista de ello, se considera que la población es de dimensiones infinitas.

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

La muestra se define como un conjunto de objetos y sujetos procedentes de una población; es decir de un subgrupo de la población, cuando ésta es definida como un conjunto de los elementos que cumplen con determinadas especificaciones.

#### **4.3.2.1 Tamaño de la muestra**

Se considera que la población a partir de la cual se deberá tomar las muestras, está constituida por los materiales del lecho del sector en estudio. En el caso específico que se trata en esta investigación, obtener una muestra que sea representativa de la población es un proceso un tanto complicado.

En ese sentido, se considera que se trata de una población de muy grandes dimensiones que podría ser considerada como casi infinita por cuanto la zona de estudio tiene un área aproximada de 13.890.000 m<sup>2</sup>. Ahora bien, si se toma en cuenta que en un metro cuadrado del lecho se podrían extraer un total de cien (100) muestras superficiales, con una dimensión cada muestra de 10 cm x 10 cm x 10 cm aproximadamente. En vista de que la Gravedad específica para las arenas del río Orinoco (Marcucci, 1974) está alrededor de 2.64, implicaría que una muestra extraída pesaría aproximadamente 2.64 kg-f y que en un metro cuadrado del lecho, las cien (100) muestras que se podrían extraer pesarían alrededor de 264 kg-f.

Este simplista análisis parece indicar que considerando tomar sólo muestras de la capa superficial del lecho, conocida como coraza, en toda la extensión de cinco (5) millas náuticas (9260 m de largo x 1500 m de ancho) del sector Jeborina (entre las progresivas del canal de navegación milla 107.0 a milla 112.0) sería posible extraer de toda la población, un total de 1.389.000.000 muestras para un peso total de 3.666.960.000 kgr-f de materiales del lecho del río Orinoco en el área de estudio.

Tal como se puede observar esta cantidad de muestras y su peso, hace inviable pretender analizar toda la población, por lo que la población se considerará infinita y aun cuando se pretenda definir un tamaño de muestra que sea estadísticamente representativa de la población, utilizando la formulación para dimensionar una muestra probabilística para una población infinita, observamos que también lo hace inmanejable física y financieramente para los propósitos y condiciones de esta investigación, tal como se observa a continuación:

$$n = (Z^2 p q) / e^2$$

Donde:

N: Población: infinita

Nivel de confianza: 95% lo cual implica  $Z = 1.96$

p: probabilidad de ocurrencia = 0.50

q = probabilidad no ocurrencia = 0.50

E: error = 5%

n: tamaño de la muestra = 384 muestras

En función a lo anterior, esta investigación se efectuará con una muestra no representativa o una muestra a criterio. Con base en esa apreciación, para el tamaño de la muestra se deberán tomar en consideración los siguientes aspectos:

1. Debido a que las muestras serán tomadas con un muestreador izado a mano con cuerdas, la selección de los sitios de muestreo deberán limitarse a profundidades menores de 15.00 m.

2. Las muestras serán tomadas en un patrón simétrico distribuido en toda el área de estudio.

3. Debido a las limitaciones operativas de laboratorios que tiene la Escuela de Ciencias de la Tierra para el momento de realizar esta investigación, se solicitará el apoyo de otros laboratorios privados (Geoambiente) a fin faciliten sus espacios y equipos para realizar los ensayos.

4. La no disponibilidad de capacidad de transporte adecuado para la movilización de las muestras desde el campo hasta el laboratorio también limita la cantidad de carga a transportar.

Dadas las condiciones limitantes expuestas y conocido el tamaño que debería tener una muestra representativa estadística, se decidió extraer una cantidad aproximada entre tres (3) y diez (10) muestras.

#### **4.3.2.2 Ubicación del sitio de muestreo**

Los sitios de muestreo se han elegido siguiendo un patrón de mallado simétrico tal como se indica en el croquis adjunto de la figura 4.1. Nótese que se ha seguido la misma cuadrícula del sistema de coordenadas UTM para ubicar los puntos de muestreo.

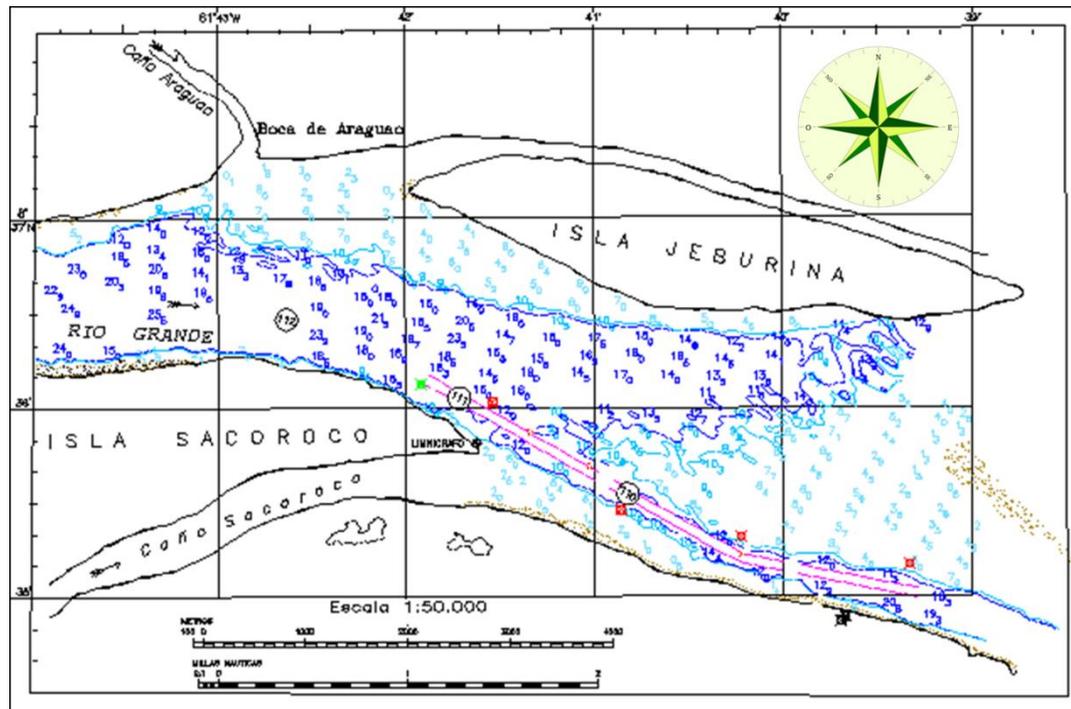


Figura 4.1 Ubicación de los sitios de muestreo (puntos rojos).

Tabla 4.1 Ubicación de puntos de muestreo de suelos.

Identificación de la muestra	Coordenadas UTM REGVEN, huso 20, elipsoide GRS-80	
	ESTE	NORTE
1	643500	950810
2	645200	949570
3	646814	949400
4	648622	948907

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

Para obtener información relevante proveniente de la realidad objeto de estudio será necesario utilizar distintos instrumentos de recolección, como lo define Sabino, (1992): “Un instrumento de recolección de datos, en un principio es cualquier recurso del que se vale un investigador para acercarse a fenómenos y extraer de ellos información”. En tal sentido, y en relación a los objetivos definidos en el presente

estudio ubicado en un contexto de investigación descriptiva, se utilizarán diversas técnicas de recolección de datos para cumplir con las metas propuestas.

#### **4.4.1 Técnicas de recolección de datos**

##### **4.4.1.1 Observación directa**

Tamayo y Tamayo, (2004), define observación directa como: “Aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”.

Mediante la observación directa, se hará un reconocimiento visual del área de estudio a fin de verificar las condiciones en las que se encuentra en cuanto a la topografía, vegetación, condiciones de las riberas, islas entre otros aspectos presentes en el sector. Cabe destacar que esta técnica es una de las que consolida la estrategia de la investigación de campo.

##### **4.4.1.2 Revisión literaria**

La revisión literaria, permitirá extraer las bases teóricas y los antecedentes del problema de investigación, sirviendo como herramientas documentales que sustenten el trabajo propuesto, como lo expresa Tamayo y Tamayo, (2004): “la revisión literaria es el fundamento de la parte teórica de la investigación y permite conocer a nivel documental las investigaciones relacionadas con el problema planteado”.

##### **4.4.1.3 Entrevistas no estructuradas**

La realización de entrevistas es una técnica de recolección muy significativa, a través de ésta se obtendrá información valiosa y de interés, permitiendo aclarar las dudas existentes sobre el tema en estudio. Tal como lo expresa Sabino, (1992): “de un

modo general una entrevista no estructurada, es aquella en la que no existe una estandarización formal, habiendo por lo tanto un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas”.

Éstas serán realizadas a profesionales calificados, específicamente ingenieros civiles, ingenieros geólogos y cualquier otra persona que pueda brindar algún tipo de asesoría en cuanto al comportamiento del lecho y sedimentos del área de estudio.

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

Se entiende por instrumentos para la recolección de datos a cualquier herramienta, dispositivo, equipo o instrumento que permita registrar sistemáticamente el proceso de recolección de los datos e información que se emplearán en el desarrollo de la investigación. Se considera que serán utilizados los siguientes equipos básicos para trabajos de campo, laboratorio y oficina durante la ejecución de esta investigación, tales como:

- a. Artículos de protección personales (botas, guantes, lentes, mascarilla, salvavidas)
- b. Libreta de campo, lápiz e instrumentos de dibujo.
- c. Brújula (Marca KE, modelo Brunton)
- d. GPS (Marca Garmin)
- e. Ecosonda (Marca Raytheon, modelo 719B)
- f. Cinta métrica
- g. Muestreador de fondo con cuerda
- h. Equipo de laboratorio para ensayos granulométricos
- i. Microscopio o lupa eléctrica para análisis morfosκόpico de partículas
- j. Equipo de laboratorio para ensayos de límites de consistencia
- k. Equipo de laboratorio para ensayo de corte directo

- l. Bolsas para muestras, cordeles y marcadores
- m. Cámara fotográfica digital
- n. Equipo de computación (computador, impresora, etc)
- o. Equipo de comunicaciones (teléfonos celulares y radios portátiles)
- p. Programas de ofimática (Word, Excel, Powerpoint)
- q. Programas de diseño asistido por computador (Autocad Civil 3D)
- r. Otras aplicaciones computarizadas (HECRAS, Google Earth, entre otros)

#### 4.6 Flujoograma de la investigación

A continuación se presenta una relación esquemática de las actividades que han de realizarse de acuerdo a los objetivos específicos formulados anteriormente. En este sentido se puede observar en la figura 4.2 la vinculación entre las distintas actividades conspicuas que han de realizarse en la presente investigación:

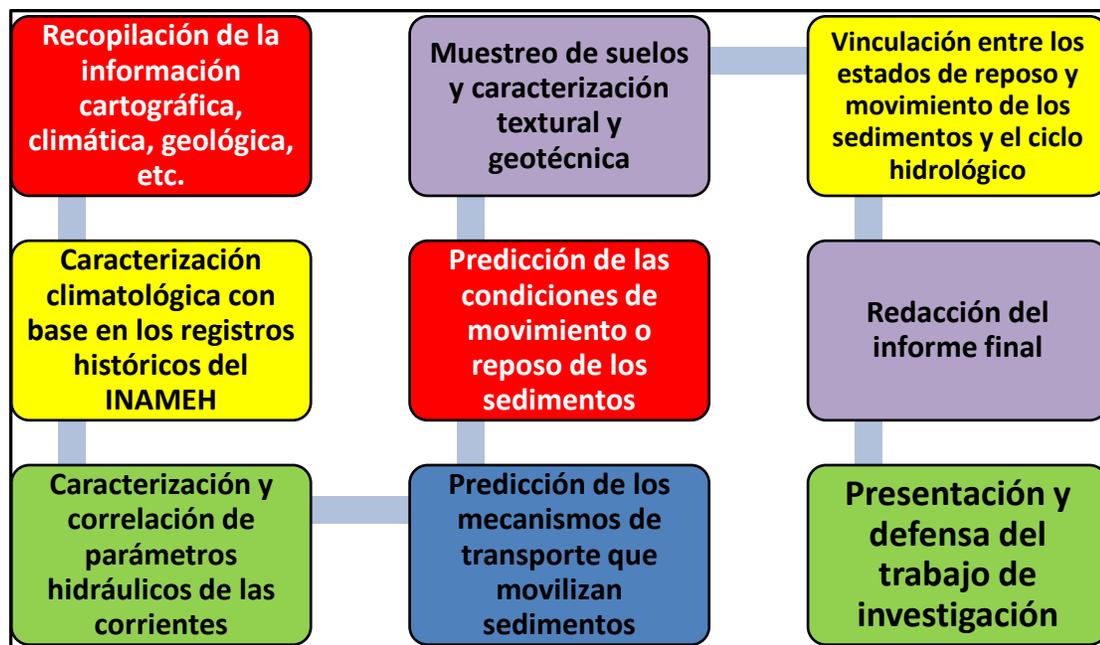


Figura 4.2 Flujoograma de la investigación.

## **4.7 Procedimiento para el logro de los objetivos específicos**

A continuación se efectuará un breve esbozo de las actividades que han de realizarse para la obtención cabal de los objetivos específicos que se han formulado en esta investigación. En tal sentido, los pasos requeridos para la realización de la presente investigación serán los siguientes:

### **4.7.1 Describir los parámetros climáticos que afectan el área de estudio**

Con la finalidad de efectuar una idónea caracterización climatológica de la zona de estudio se consultarán las bases de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) en la estación más cercana al área de estudio. En ese sentido, se considerarán como parámetros climáticos que pudiesen afectar significativamente en los niveles de la superficie del agua del río Orinoco en el sector Jeburina, a la pluviosidad, la evaporación, la temperatura, la radiación solar, la humedad relativa, y la velocidad del viento, entre otros.

### **4.7.2 Correlacionar los parámetros hidráulicos del flujo del río en el sector Jeborina**

Entre los factores que intervienen en el movimiento de sedimentos fluviales, bien sea como arrastre de fondo, en saltación o como suspensión, se encuentran fundamentalmente como medio de transporte el río Orinoco propiamente por lo que se ha considerado que las características del flujo tales como la Velocidad de las corrientes, el caudal y el nivel del flujo del agua son los parámetros de suma importancia en esa evaluación. En tal sentido, para la obtención de estos parámetros se consultarán las bases de datos de mediciones de aforos realizadas por de la CVG Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco (antes Instituto Nacional de

Canalizaciones), específicamente se consultarán los registros históricos de aforos efectuados en la sección de aforo más cercana al sector Jeborina.

#### **4.7.3 Describir texturalmente los sedimentos del lecho del sector Jeborina**

El río Orinoco moviliza sedimentos a través de su cauce como un flujo en dos (2) fases (agua y sedimentos); sin embargo, en el planteamiento del problema de esta investigación se expuso que de acuerdo a las características de las corrientes, las cuales varían en magnitud durante el año, también existirá una capacidad de transporte de sedimentos variable.

Para caracterizar estos sedimentos, en primer lugar se revisarán los estudios antecedentes en los cuales se presenten las características de los sedimentos que moviliza el río Orinoco en el sector Jeburina; sin embargo, se considera que sería de una importancia primaria disponer de materiales del lecho de la mencionada zona, para lo cual se pretende realizar un muestreo de sedimentos del fondo del río en el citado sector. Por disposiciones de seguridad industrial se ha exigido que el muestreo sea realizado por el personal de hidrógrafos de la CVG Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco quienes una vez captadas las muestras le serán entregadas a la Universidad de Oriente.

A las muestras tomadas se les realizarán los análisis respectivos en laboratorio para determinación de: distribución granulométrica de suelos gruesos (por tamizado según normas ASTM D421 y ASTM D422) y finos los finos (por hidrómetro según norma AASHTO T87 y T88), se determinarán los límites de consistencia o límites de Atterberg (según normas ASTM D423 y ASTM D424), formas predominantes de los granos y se definirá la resistencia al corte de los suelos (ángulo de fricción interna y cohesión) mediante ensayo de corte directo según norma ASTM D3080.

#### **4.7.4 Predecir las características del flujo de sedimentos que se producirían en el sector Jeburina**

Tal y como se mencionó en el Marco teórico (Capítulo III) de este documento existen numerosos criterios (basados en la velocidad del flujo o en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos) para determinar las condiciones que deben reunir los flujos y los sedimentos para que se produzcan los estados de movimiento o de depositación de los mismo. Entre los criterios que se aplicarán para determinar el estado de movimiento de los sedimentos se aplicarán, en esta investigación, los modelos Engelund, Bagnold, Shields, Van Rijn, Hjulstrum, entre otros.

Adicionalmente, se establecerá la vinculación entre los estados de erosión, transporte o depositación de las partículas del lecho y el momento del ciclo hidrológico en la que esto ocurre específicamente en el sector Jeburina.

#### **4.7.5 Predecir los mecanismos que podrían movilizar los sedimentos del lecho del sector Jeburina**

Se hace necesario igualmente determinar los porcentajes de los sedimentos que son movilizados a través del área de estudio como carga de fondo (o arrastre), o que se movilizan por saltación o finalmente, que sean trasladados en suspensión formando con el agua un flujo en dos (2) fases. La determinación de las fracciones de suelo que se movilizan mediante los mecanismos mencionados serán determinados a través del modelo de Visher.

## **CAPÍTULO V**

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

#### **5.1 Climatología del sector Jeburina del río Orinoco**

A partir de los datos suministrados por la Estación Meteorológica Caroní-Macagua se obtuvieron los siguientes resultados:

La precipitación alcanzada a lo largo del canal es de unos 1205,3 mm (Tabla 5.1).

La temperatura permanece prácticamente inalterable y está por el orden de los 30 °C alcanzando temperaturas máximas de unos 32,7 °C.

En cuanto a la evaporación presenta valores constantes a lo largo de todo el recorrido con valores cercanos a los 2433,6 mm.

En general el clima es muy predecible y sólo se observan dos estaciones; una estación seca con una duración de 3 o 4 meses (desde Mayo hasta Septiembre) y una estación lluviosa de 8 a 9 meses comprendidas entre Diciembre y Abril (Tabla 5.2).

Tabla 5.1 Parámetros climatológicos promedios mensuales, período 1999-2020,

estación Meteorológica Caroní – Macagua (Corpoelec, 2021).

Elemento	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun.	Jul.	Ago.	Sep	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
<b>Precipitación Med.(m.m)</b>	39,1	35,9	20,5	26,4	113,1	209,8	218,1	186,7	82,7	83,1	109,1	55,8	1205,3
<b>Precipitación Máx.(m.m)</b>	75,8	99,6	78,5	64,4	187,6	336,8	366,6	289,5	193	163,7	203,2	140,1	1428,7
<b>Precipitación Mín.(m.m)</b>	10	0	0,1	1,5	11,1	112,8	63,2	121,1	6,1	25,4	52,9	18	867,8
<b>Temp. Med. Media °C</b>	26,2	26,7	27,8	29,1	28,5	26,9	26,6	26,9	27,8	27,9	27,2	26,6	27,3
<b>Temp. Med. Máxima °C</b>	27,7	29,3	29,5	30,4	29,8	27,9	27,1	27,7	28,8	28,8	28,3	27,6	28
<b>Temp. Med. Mínima °C</b>	25,2	25,4	26,4	27,2	27,5	26,1	25,7	26,1	26,5	27,2	25,9	25,4	26,7
<b>Temp. Mín. Media °C</b>	20,9	21	21,7	22,4	22,9	22,5	22,1	22,1	22,3	22,2	22	21,6	22
<b>Temp. Mín. Máxima °C</b>	21,7	22,8	23	24,2	23,5	23,2	22,9	22,9	23,2	23,2	22,7	22,6	22,7
<b>Temp. Mín. Mínima °C</b>	19,9	19,2	20,8	21,9	22,1	21,6	21	20,5	20,3	20,4	19,7	20,6	21,1
<b>Temp. Máx. Media °C</b>	31,5	32,3	33,4	34,6	33,8	32	31,7	32,2	33,2	33,5	32,6	31,7	32,7
<b>Temp. Máx. Máxima °C</b>	33,4	35,8	35,7	36	35,2	33,2	32,3	32,7	34,1	34,4	33,6	33	33,5
<b>Temp. Máx. Mínima °C</b>	29,9	30,1	31,8	32,7	32,5	30,8	30,6	31,1	32,5	32,7	31,1	30,2	32,1

Tabla 5.2 Otros Parámetros climatológicos promedios mensuales, período 1999-2020, estación Meteorológica Caroní – Macagua (Corpoelec, 2021).

Elemento	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
<b>Evap. Med. (m.m)</b>	179,4	198	245,6	255,4	222,5	170,4	167,6	174,7	187,9	194,2	161,4	163,2	2433,6
<b>Evap. Máx. (m.m)</b>	233,7	270,4	305,9	328,4	294,3	185,1	192,7	190,4	215,2	217	185,1	204,6	2547,1
<b>Evap. Mín. (m.m)</b>	128,5	136,2	177,7	182,3	175,4	144,2	151,8	157,3	166,6	171,4	142,2	136,2	2320,1
<b>Radiación Med. (c/cm2)</b>	10042,8	9694	11122,4	10739,6	10728,6	9811,7	10518,3	11031,3	10964	10164,7	9760	9808,2	39908
<b>Radiación Máx. (c/cm2)</b>	11763	11190	13035	12438	11744	11513	12730	13350	13133	12793	10973	11042	39908
<b>Radiación Mín. (c/cm2)</b>	8482	8769	9041	9101	9573	7993	9098	9007	9224	1242,5	8388	7990	39908

## 5.2 Características hidráulicas del flujo en el área de estudio

Desde el punto de vista hidrológico, el mecanismo más notable como factor condicionante de evolución de las estructuras del delta del río Orinoco (formación de caños y meandros), y el cual se asocia a la forma del hidrograma y magnitud de los caudales generados a partir de una cuenca con una superficie drenada de cerca de un millón de km<sup>2</sup>, refleja en las amplias variaciones de los niveles entre los períodos seco y lluvioso, en particular en la parte sur del canal, registrándose variaciones de hasta 6 y 7 metros en el sector Jeburina (INC, 1990).

Para el análisis del movimiento de los sedimentos se deberá en primer término caracterizar los flujos que se producen en el sector Jeburina. En ese sentido, una revisión de los registros históricos de aforos medidos en la sección Jeburina permite efectuar una correlación entre el nivel de la superficie del agua vs el caudal y entre el nivel de la superficie del agua y la velocidad de la corriente (Tabla 5.3 y Figuras 5.1 y 5.2). En ellas se puede visualizar que existe una relación directa entre el nivel del agua, el caudal y la velocidad de la corriente.

Tabla 5.3 Registro de aforos en la sección Jeburina (INC, 2002).

FECHA	NIVEL (m)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
23/11/1992	23.81	0.58	10640.00
07/04/1993	24.00	0.81	4400.00
30/06/1993	27.32	0.90	24670.00
19/09/1993	22.52	0.36	4780.00
26/04/1994	22.52	0.65	3150.00
06/08/1994	29.64	0.99	29280.00
12/04/1995	33.21	0.99	38210.00
06/09/1995	33.19	0.86	25770.00
31/03/1996	26.75	0.72	16900.00
30/08/1996	21.54	0.60	8170.00
25/03/1998	21.55	0.62	2670.00
06/12/1999	28.31	0.86	24050.00
20/03/2000	32.05	0.66	19430.00
11/06/2000	26.92	0.65	16500.00
12/12/2000	29.78	0.28	8390.00

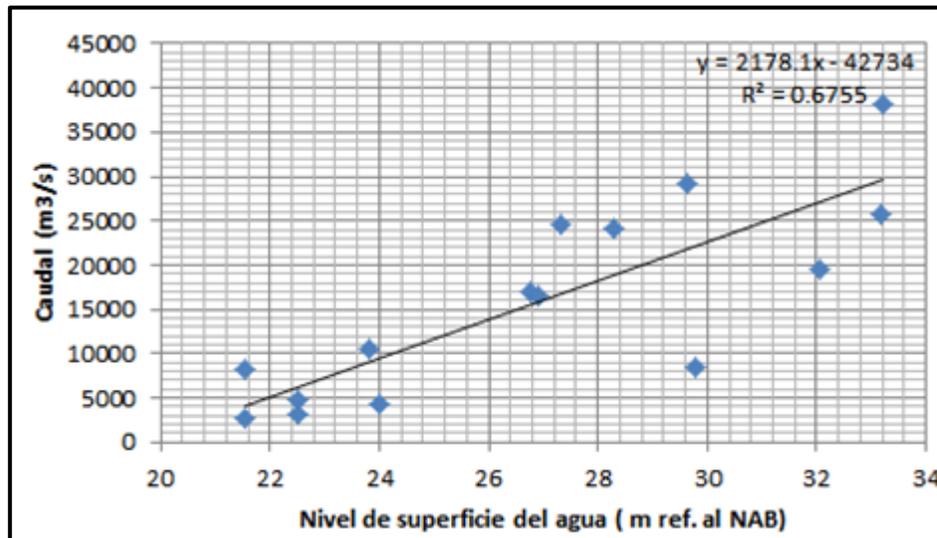


Figura 5.1 Correlación Nivel del agua vs caudal.

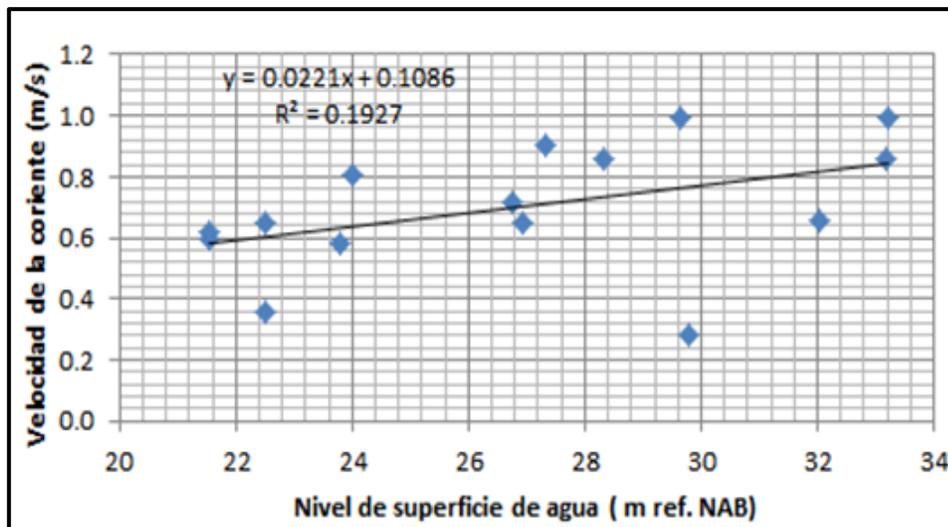


Figura 5.2 Correlación nivel del agua vs Velocidad de la corriente.

Con base a la correlación anterior y considerando que la condición menos favorable para el movimiento de los sedimentos es el período de aguas bajas (estiaje), se estima un caudal aproximado de  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  y una velocidad del flujo que podría

oscilar entre 0.58 m/s (58 cm/s) y 3.93 m/s (393 cm/s) de acuerdo a la estimación efectuada con el programa de modelaje de flujo permanente unidimensional HEC RAS (Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Parámetros hidráulicos en el sector Jeburina para una condición de aguas bajas.

River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
100	Aguas Bajas	3000.00	33.33	1.00	2993.53	531.59	0.13
90	Aguas Bajas	3000.00	33.34	0.69	3781.48	840.31	0.11
80	Aguas Bajas	3000.00	33.34	0.58	4743.61	866.67	0.08
70	Aguas Bajas	3000.00	33.19	1.04	1959.99	744.21	0.25
60	Aguas Bajas	3000.00	33.24	0.96	2681.12	648.38	0.16
50	Aguas Bajas	3000.00	32.43	3.93	763.09	492.44	1.01
40	Aguas Bajas	3000.00	28.93		620.13	266.03	0.00

### 5.3 Textura de los sedimentos presentes en el cauce del sector Jeburina

A tal efecto se planificó realizar un muestreo no probabilístico a criterio de los investigadores en el área de estudio; sin embargo, debido a las condiciones meteorológicas adversas (lluvias y vientos fuertes) sólo fue posible que el personal de la CVG coleccionará cuatro (4) muestras de sedimentos del lecho del río Orinoco en el sector Jeburina separadas aproximadamente equidistantes entre sí cuyas posiciones y coordenadas se muestran en el plano anexo. A las muestras de suelos coleccionadas se les realizará ensayos de laboratorio para determinar su distribución granulométrica y el grado de esfericidad de las partículas.

#### 5.3.1 Distribución granulométrica de las partículas

Se realiza el análisis granulométrico por tamizado (sin perder la fracción pasante del tamiz N° 200;  $\phi$  0,0745 mm) de la totalidad de las muestras recoleccionadas en la etapa

de campo; según las Normas ASTM D421-58 y D422-63; AASHTO T87-70 (preparación de la muestra). Estos ensayos se realizaron utilizando los equipos e instalaciones del laboratorio de la empresa privada Geoambiente.

Mediante el análisis granulométrico practicado a las muestras recolectadas en campo se logró determinar que todas corresponden a arenas.

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de suelos los resultados mostrados en la Figuras 5.3 a 5.6 se establece que las muestras son arenas limpias mal gradadas y corresponden a un suelo tipo “SP”.

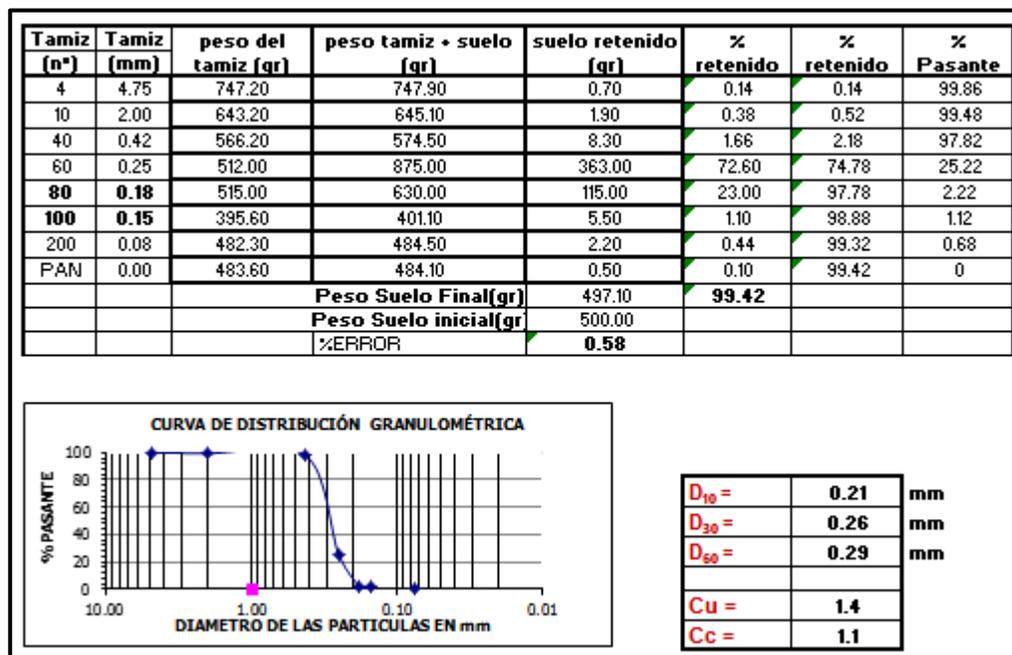


Figura 5.3 Distribución granulométrica de la muestra 1.

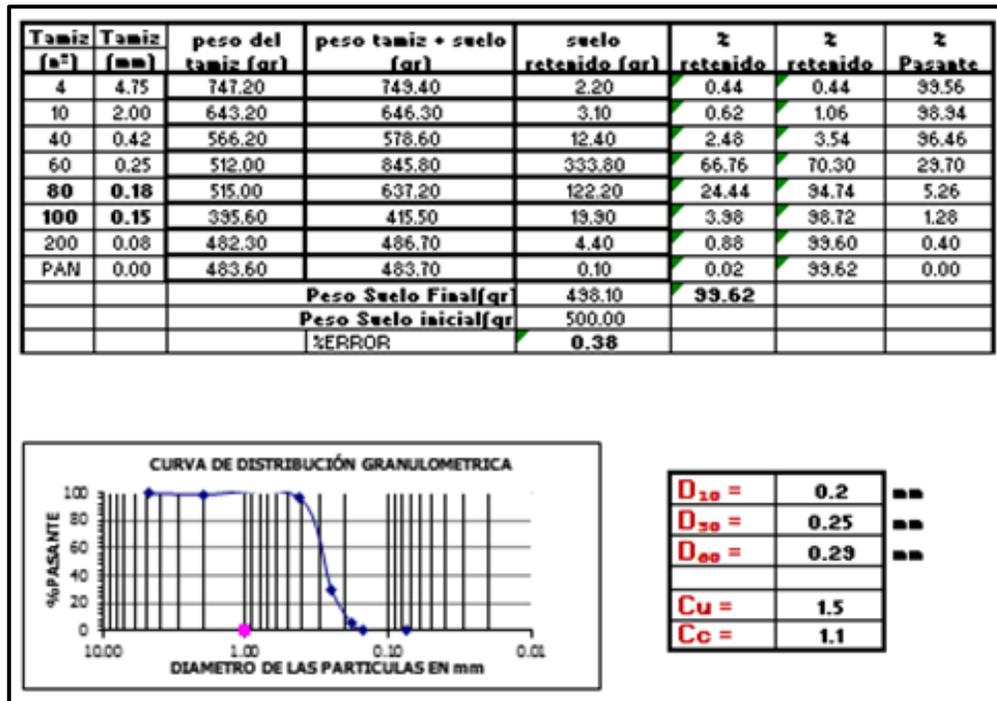


Figura 5.4 Distribución granulométrica de la muestra 2.

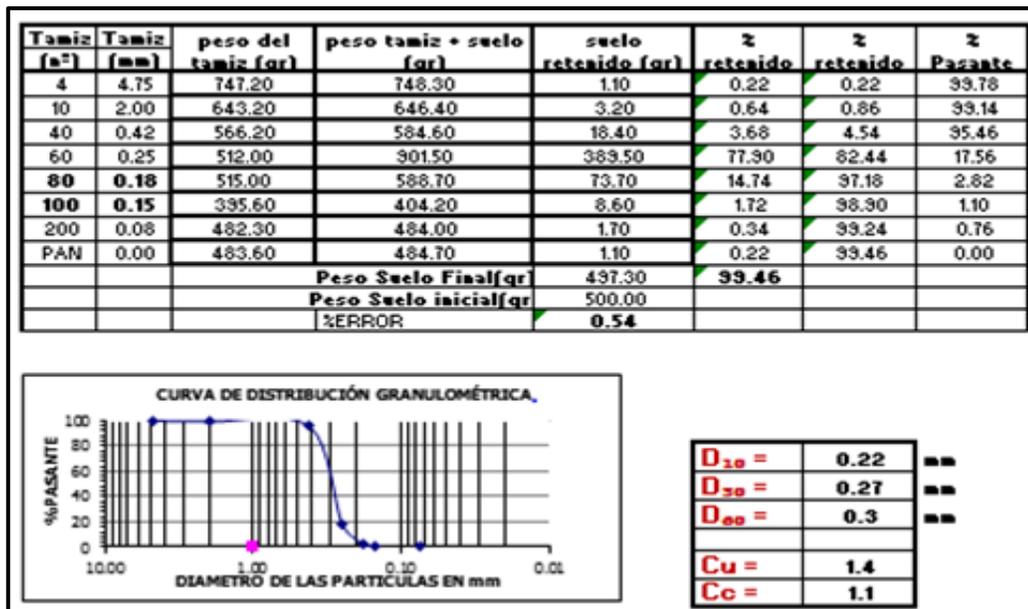


Figura 5.5 Distribución granulométrica de la muestra 3.

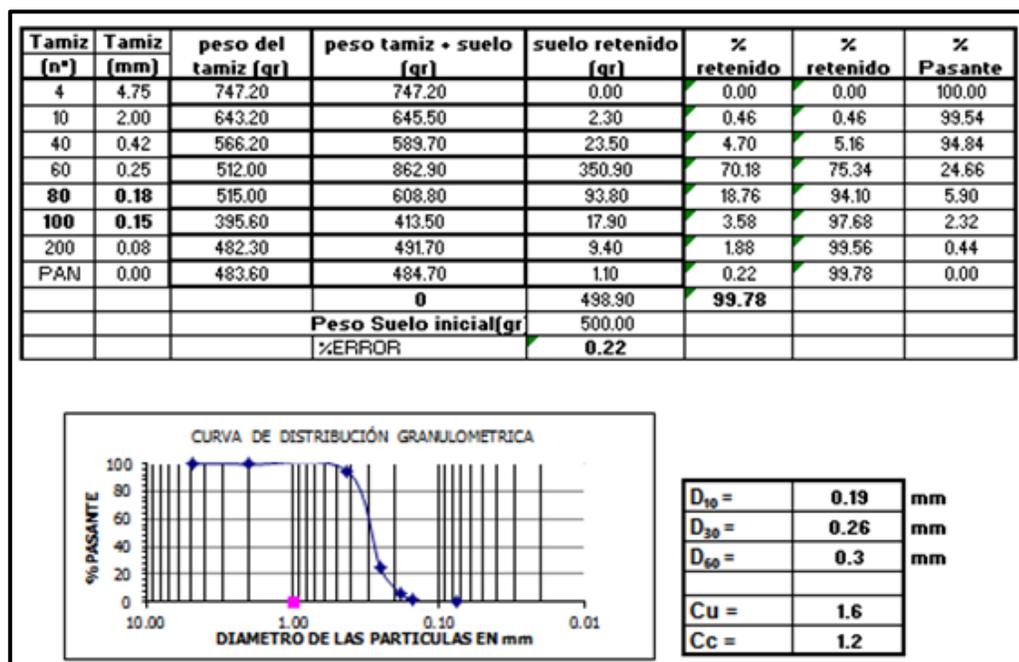


Figura 5.6 Distribución granulométrica de la muestra 4.

### 5.3.2 Análisis de redondez y esfericidad de las partículas

Se realizaron ensayos morfométricos a los sedimentos con la finalidad de calificar la redondez y esfericidad de las partículas integrantes de los mismos.

En ese orden de ideas, se encontró que las muestra analizadas presentaron formas predominantemente subangulosas y sub redondeadas, tal como se puede observar en la Tabla 5.5 y figuras 5.7 a 5.10.

Dichas formas predominantes permiten inferir que los sedimentos han sufrido significativa fricción en su superficie producto presumiblemente por un transporte moderado aunque no lo suficientemente intenso para generar formas redondeadas.

Tabla 5.5 Análisis morfoscópico de las partículas.

Muestra	ANGULOSO %	SUB- ANGULOSO %	SUB- REDONDEADO %	REDONDEADO %
1	8	50	37	5
2	11	47	36	6
3	9	46	33	12
4	6	41	46	7

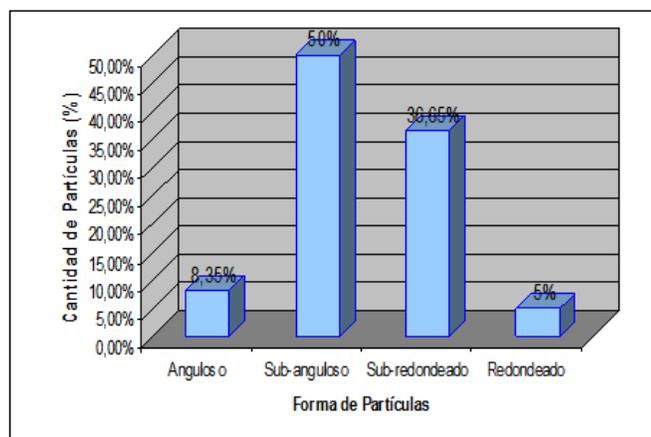


Figura 5.7 Análisis morfoscópico de la muestra 1.

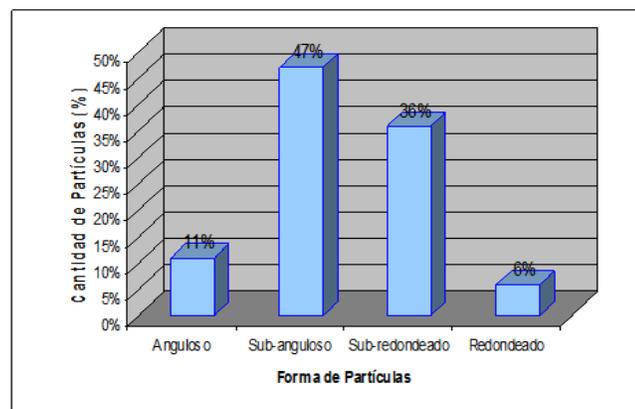


Figura 5.8 Análisis morfoscópico de la muestra 2.

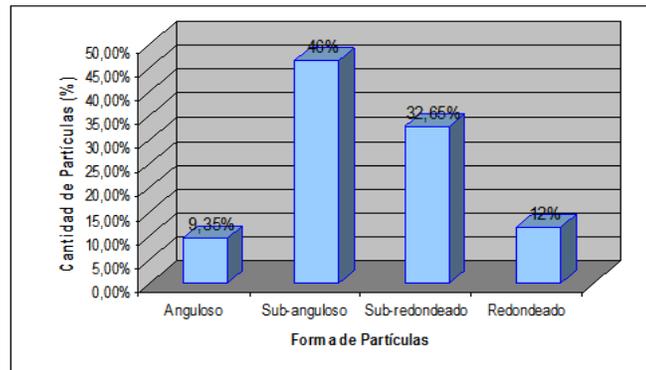


Figura 5.9 Análisis morfoscópico de la muestra 3.

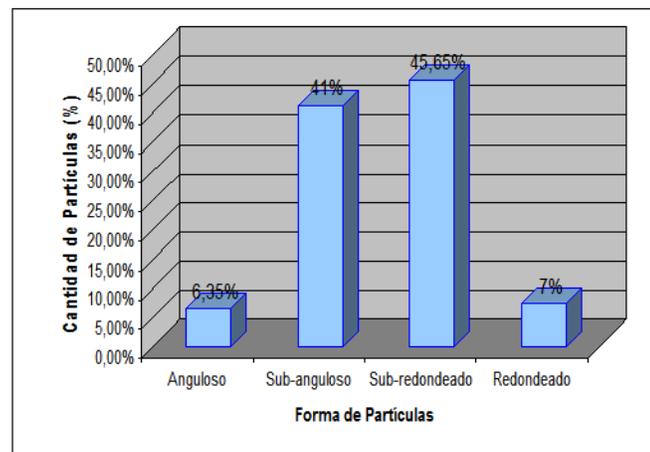


Figura 5.10 Análisis morfoscópico de la muestra 4.

## 5.4 Condiciones del flujo que inciden en el movimiento de los sedimentos

### 5.4.1 Aspectos geomorfológicos del área de estudio

Para la descripción de la geomorfología del lecho del río Orinoco en el sector Jeburina se construyen las secciones transversales desarrolladas (Tabla 5.6 y Figuras 5.11 a 5.17) con la información extraída del levantamiento batimétrico tipo costa a costa del sector Jeburina, el cual fue consultado en las instalaciones de la CVG GCNO.



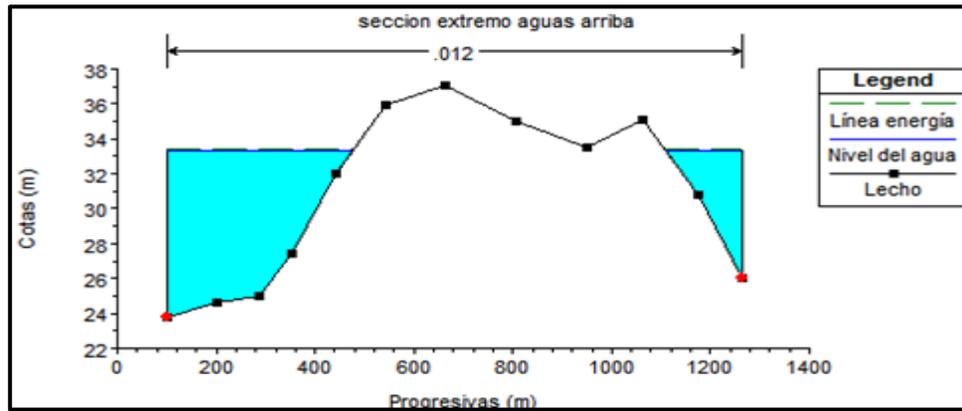


Figura 5.11 Sección transversal No 100, sector Jeburina, río Orinoco.

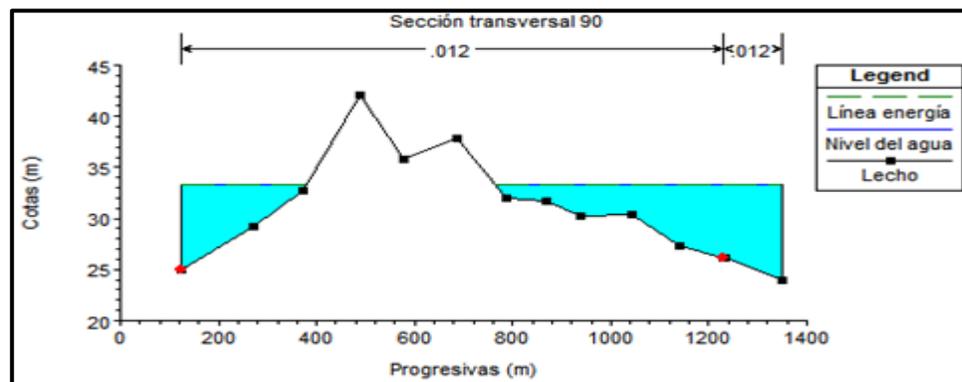


Figura 5.12 Sección Transversal 90, sector Jeburina, río Orinoco.

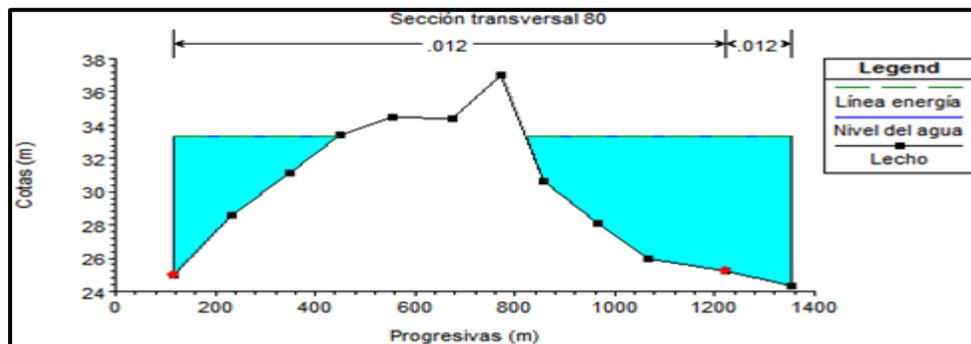


Figura 5.13 Sección Transversal 80, sector Jeburina, río Orinoco.

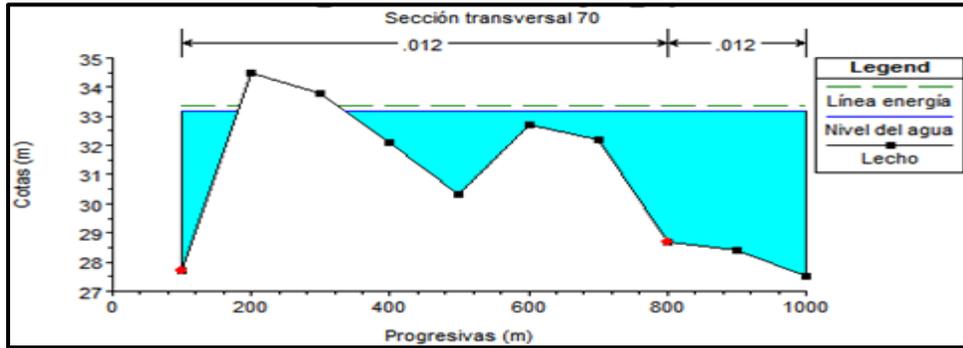


Figura 5.14 Sección Transversal 70, sector Jeburina, río Orinoco.

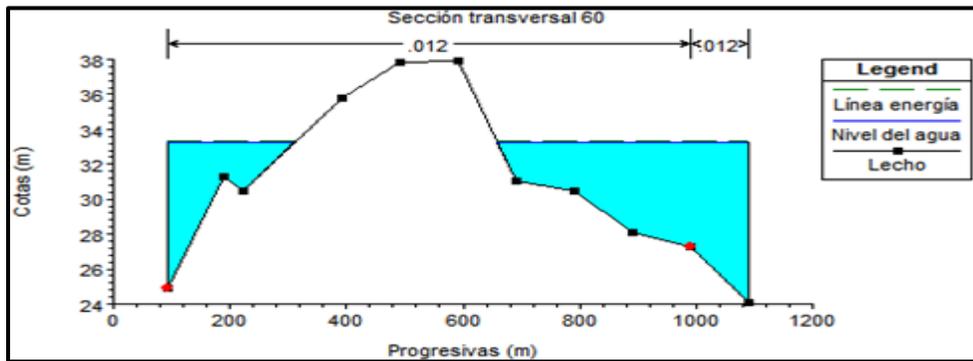


Figura 5.15 Sección Transversal 60, sector Jeburina, río Orinoco.

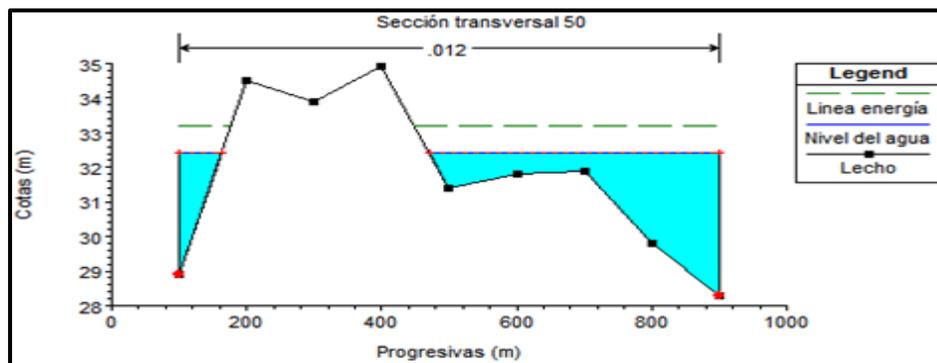


Figura 5.16 Sección Transversal 50, sector Jeburina, río Orinoco.

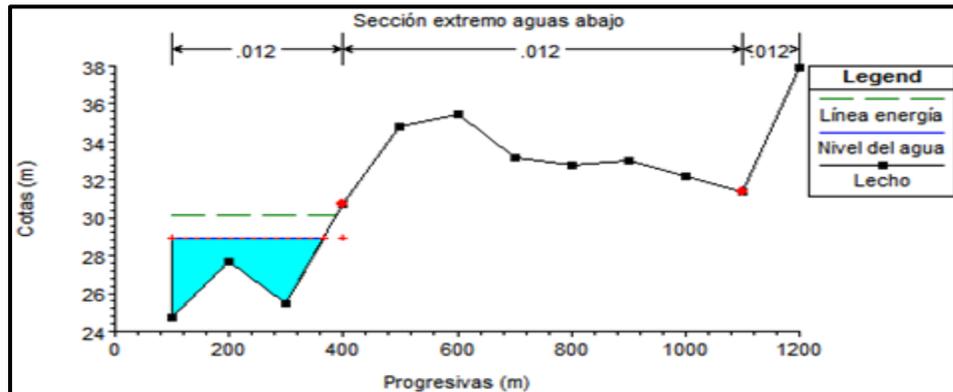


Figura 5.17 Sección Transversal 40, sector Jeburina, río Orinoco.

#### 5.4.2 Definición de los patrones preferenciales del flujo

La determinación de estos patrones preferenciales del flujo ha sido inferida haciendo uno de la construcción de un modelo digital del lecho del río Orinoco en el sector Jeburina utilizando el programa Surfer 8.

Dicho modelo digital muestra un comportamiento geomorfológico donde se destaca una clara tendencia a la depositación de sedimentos hacia la margen izquierda descendente del río (Figura 5.18), presumiblemente debido a la presencia de las incipientes barras centrales las cuales podrían disminuir la velocidad de la corriente ocasionando que las partículas, que se desplazan como carga de lecho y en suspensión, lleguen a su velocidad de depositación. En ese sentido, se observa que los patrones preferenciales de flujos ocurren por el lado sur de las barras incipientes.

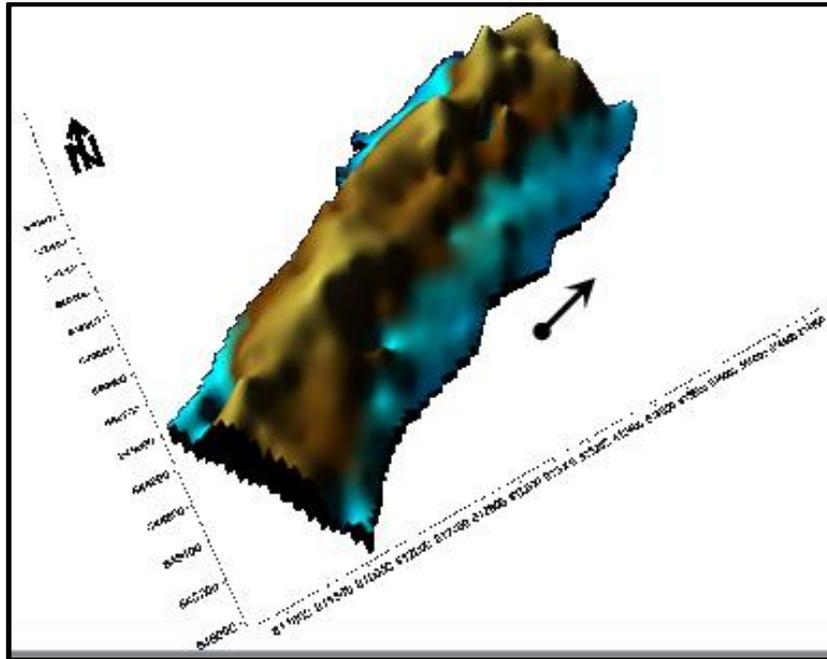


Figura 5.18 Modelo digital del lecho del sector Jeburina.

#### 5.4.3 Predicción de la ocurrencia de movimiento de las partículas del lecho en el sector Jeburina

Para realizar la predicción del movimiento o depositación de los materiales del lecho del sector Jeburina, se aplicarán los modelos de Hjulstrum, Van Rijn y de Shields.

##### 5.4.3.1 Movimiento de los sedimentos según criterio de Hjulstrum

La aplicación del modelo de Hjulstrum requiere el diámetro medio ( $d_{50}$ ) de los sedimentos que para el caso en análisis del sector Jeburina se ha estimado entre 0.27 mm y 0.29 mm lo cual permite estimar velocidades de corriente para mantener el movimiento de las partículas entre 2.0 cm/s y 22 cm/s aproximadamente lo cual se puede observar en la Figura 5.19 siguiendo la línea de trazo color rojo.

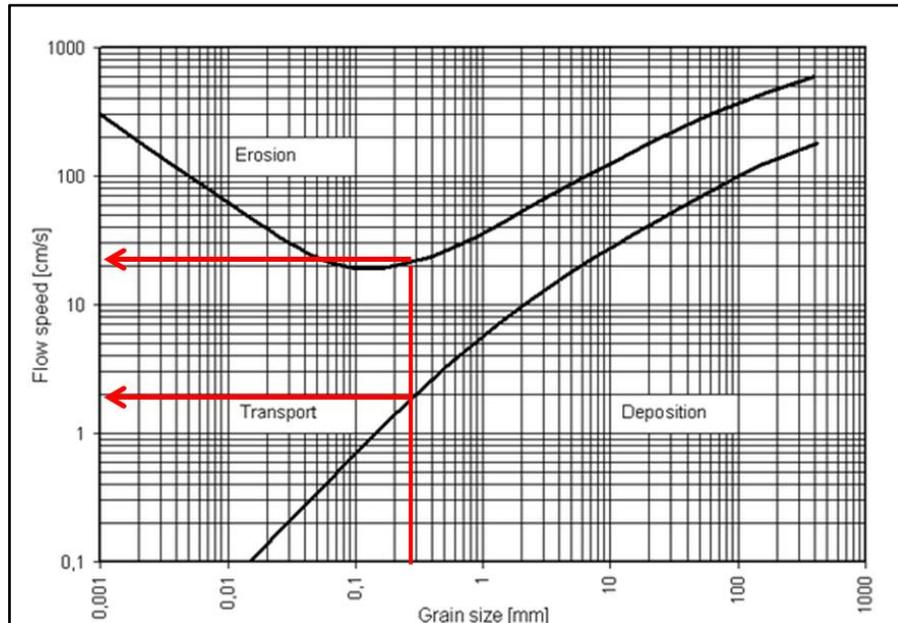


Figura 5.19 Modelo de Hjulstrum aplicado

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 5.7.

Tabla 5.7 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)
1	$\leq 2.0$	$2.0 \leq x \leq 22$	$\geq 22$
2	$\leq 1.9$	$1.9 \leq x \leq 20$	$\geq 20$
3	$\leq 1.9$	$1.9 \leq x \leq 55$	$\geq 55$
4	$\leq 2.0$	$2.0 \leq x \leq 22$	$\geq 22$

Cabe destacar que los registros históricos de aforos no muestran condiciones de niveles del agua en la cual se produzcan velocidades de corrientes tan bajas donde se produzca una depositación masiva de partículas; sin embargo, se conoce que la

distribución de velocidades en un tramo del río es muy fluctuante y sensible a la morfología del cauce además de los niveles del río, de allí pues que se produzcan barras incipientes de arena que eventualmente afloran sobre la superficie del agua.

#### 5.4.3.2 Movimiento incipiente de los sedimentos según Van Rijn y Shields

Para determinar las condiciones de movimiento incipiente según Van Rijn se calcularán los siguientes parámetros:

$$\theta_{cr} = \tau_{b,cr} / ((\gamma_s - \gamma_l) d_{50})$$

$$\tau_{b,cr} = \gamma_l \cdot h \cdot I$$

$$D_* = ((s - 1) g / \nu^2)^{1/3} d_{50}$$

Donde:

$\theta_{cr}$  = Parámetro crítico de Shields calculado = 0.55.

$\tau_{b,cr}$  = esfuerzo cortante crítico en el lecho

$\gamma_l$  = Peso específico del agua = 1000 Kgf/m<sup>3</sup>

$\gamma_s$  = Peso específico del material del lecho = 2650 Kgf/m<sup>3</sup>

$g$  = aceleración de la gravedad = 9,8 m/s<sup>2</sup>

$d_{50}$  = Diámetro medio de las partículas = 0.00029 m.

$h$  = Profundidad promedio del agua = 5.25 m

$I$  = Pendiente hidráulica = 0.00005 m/m.

$s$  = Densidad relativa ( $\gamma_s / \gamma_l$ ) = 2.65

$\nu$  = Viscosidad cinemática del agua (25°C) =  $8.94 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s

En la Figura 5.20 se puede observar que al graficar el valor del Parámetro crítico de Shields (0.55), se ha trazado en línea segmentada y se ubica por encima de las curvas del modelo de Van Rijn y del modelo de Shields, lo cual indica que las partículas de los sedimentos pudiesen estarse manteniendo en suspensión en estas condiciones analizadas

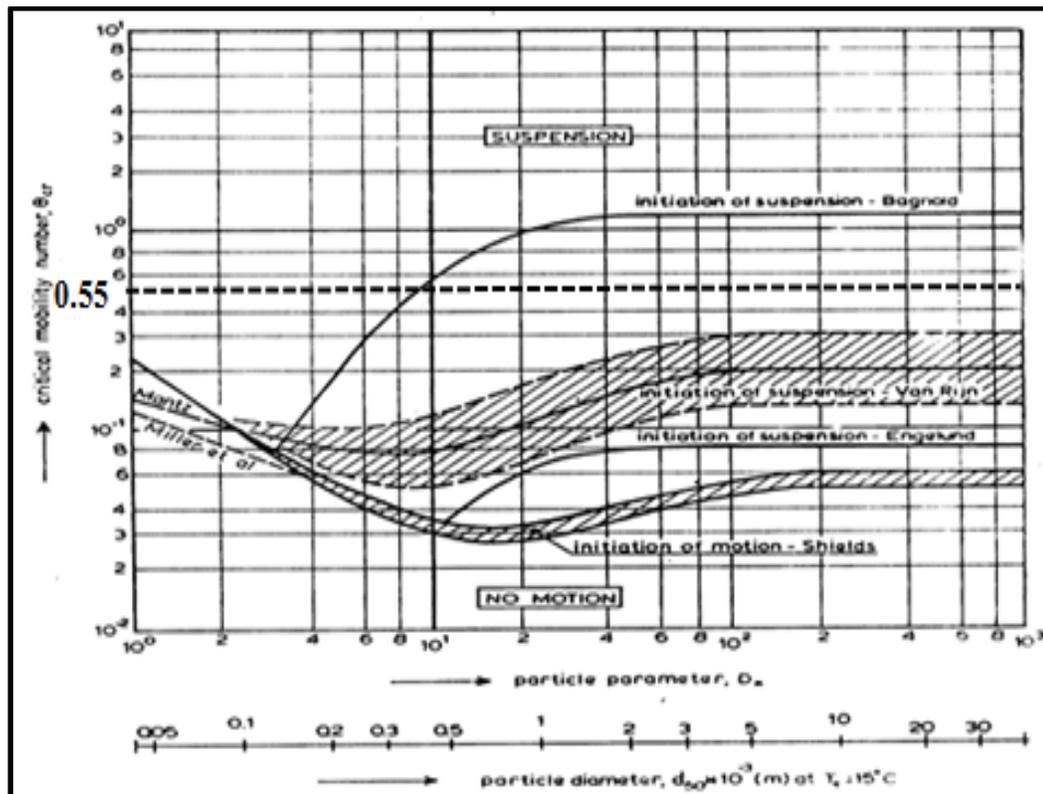


Figura 5.20 Diagrama de Van Rijn (Van Rijn, 1980).

### 5.5 Cuantificación de las fracciones de azolves que se movilizarán por distintos tipos de mecanismos

A tal efecto, se aplicará el modelo de Visher para determinar que fracción de las partículas se moviliza por tracción, que porcentaje de las partículas se mueve por saltación y cual fracción y porcentaje se moviliza por el mecanismo de suspensión.



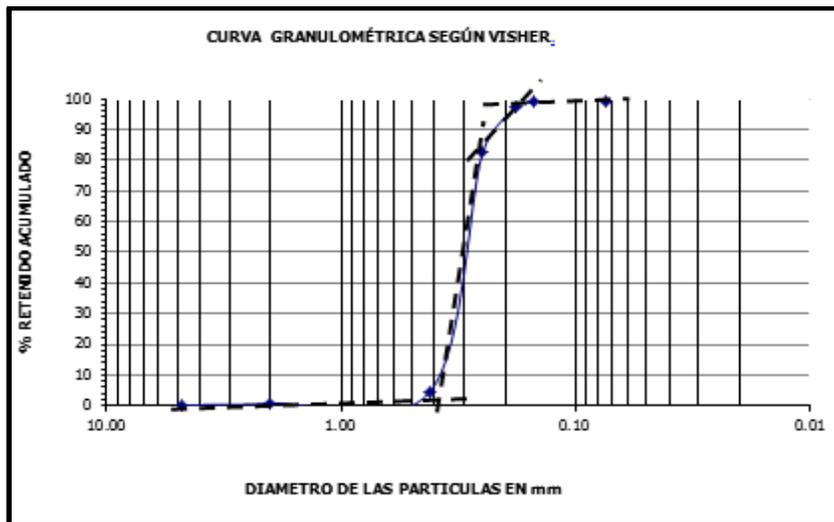


Figura 5.23 Curva granulométrica según Visher para la muestra 3.

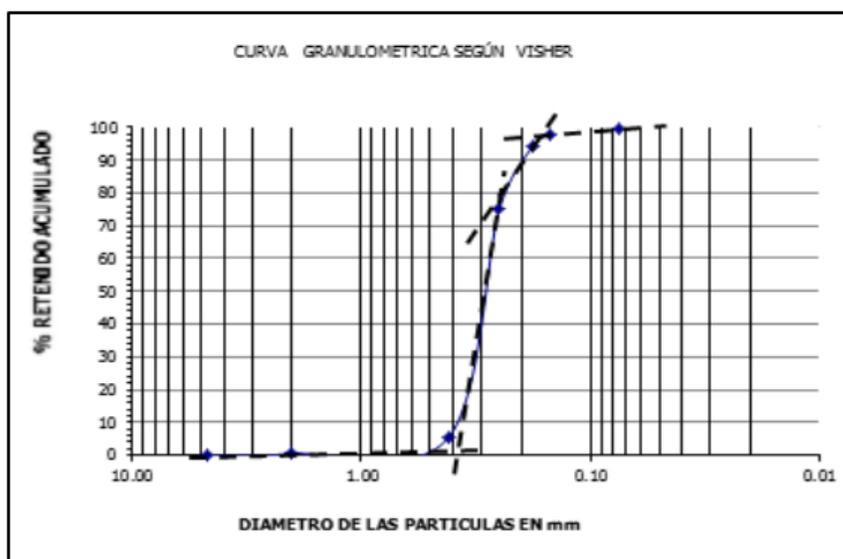


Figura 5.24 Curva granulométrica según Visher para la muestra 4

En ese sentido, se puede observar en la Tabla 5.8 las distintas fracciones de los sedimentos según la modalidad de movimiento mediante el cual se transportan.

Tabla 5.8 Fracción porcentual que se moviliza según mecanismo de Visher.

Muestra	Fracción por tracción		Fracción por saltación		Fracción por suspensión	
	Rango diámetros (mm)	%	Rango diámetros (mm)	%	Rango diámetros (mm)	%
1	4.75 a 0.34	1	0.34 a 0.18	97	0.18 a 0.075	2
2	4.75 a 0.38	2	0.38 a 0.17	97	0.17 a 0.075	1
3	4.75 a 0.39	2	0.39 a 0.17	97	0.17 a 0.075	1
4	4.75 a 0.39	1	0.39 a 0.17	96	0.17 a 0.075	3

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. El tipo de sedimento presente en el área corresponde a arena de medias a finas y que de acuerdo al sistema Unificado de Clasificación de Suelos corresponden a suelos de tipo SP. Por otra parte, el análisis morfométrico de las partículas que muestra formas de partículas predominantemente subangulosas y subredondeadas, lo cual permite inferir un transporte friccionante significativo dada la naturaleza cuarzosa de los materiales.
2. La caracterización hidráulica del sector Jeburina basada en los registros históricos de aforos del río Orinoco en el sector permite inferir que los mínimos caudales esperados durante el período de estiaje en este tramo del canal de navegación esta alrededor de los 3000 m<sup>3</sup>/s y que las velocidades del flujo en el tramo evaluado se mantendrían dentro de un rango entre 0.58 m/s (en la sección transversal 80) y un máximo de 3.93 m/s (en la sección transversal 50).
3. Geomorfológicamente el sector Jeburina podría presentar tendencia a formar corrientes anastomosadas que se acentuarían durante los períodos de estiaje o de aguas bajas. Asimismo, los modelos digitales del lecho permiten mostrar multitud de pináculos subacuáticos que favorecen la depositación y consecuentemente podrían contribuir a la formación de las barras de arena. Por otra parte, se concluye que los patrones preferenciales de flujo se producen por el lado sur de la formación incipiente de barras de arena
4. La aplicación del modelo de Hjulstrum permite concluir que los materiales del lecho presentes en el sector Jeburina requieren velocidades del flujo en el rango de

2.0 cm/s a 22 cm/s aproximadamente para mantenerse en régimen de transporte. .  
En ese sentido, se puede predecir que la velocidad de depositación de los materiales (menor a 2 cm/s ) se puede producir por factores diferentes a la disminución de niveles del río tal como las variaciones en la geomorfología misma del lecho pero esta siempre se producirá en los per.

5. Los modelos de Van Rijn y Shields indican, luego de su aplicación, que los sedimentos pueden permanecer en condiciones de suspensión con las condiciones de flujo promedio del sector.
6. El modelo de Visher parece indicar que la modalidad predominante para transporte de los sedimentos es la de saltación y en proporción mínima las de suspensión y de tracción.

### **Recomendaciones**

1. Implementar modelos físicos de flujo de sedimentos en el área de estudio, que permitan evaluar las direcciones preferenciales del flujo que utilizan los sedimentos en su tránsito por el sector.
2. Evaluar las tendencias migratorias de las barras de arena con la finalidad de determinar la recurrencia en la formación de las mismas y su correlación con las magnitudes de velocidades y direcciones de corrientes.

## REFERENCIAS

Acuña, M. (2000). **ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DEL SECTOR SAN FÉLIX DEL RÍO ORINOCO**. Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz. Pp 89-103.

Alfonsi, P. P (1983). **AMBIENTES SEDIMENTARIOS**. Meneven, Venezuela. pp 15.

Alfonsi, Pedro Pablo. (1993). **SEDIMENTOLOGÍA DE CLÁSTICOS Y ELECTROFACIES**. Curso dictado para la CIED-Centro Internacional de Educación y Desarrollo. Puerto la Cruz- Estado Anzoátegui. Venezuela. Pp 58-59.

Allen, J. (1987). **SEDIMENTARY STRUCTURES, THEIR CHARACTER AND PHYSICAL BASIC DEVELOPMENTS IN SIDIMENTOLOGY**. Amsterdam Elsevier Vol. 1. pp 663.

Allen, J. (1965) **A RIVER OF THE ORIGIN AND CHARACTERISTIC OF THE RECENT ALLUVIAL SEDIMENTS**. Plublishng Company London. Pp 89-191.

Allen, J. (1977). **PHYSICAL PROCESSES OF SEDIMENTATION**. Fourt Impresión. London: Allen G. and Unwin. Pp 248.

Allen G y Segura. F (1989). **SEDIMENTOLOGÍA DE LOS DEPÓSITOS CLÁSTICOS**. Exploración Laboratory. C.F.P. Corporación S.A. Pg 238.

Araya. H. (2006). **ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE LA ISLA LOS CABALLOS SECTOR EL ALMACÉN. ESTADO BOLÍVAR**, Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Estado Bolívar.

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

Badillo Eulalio Juárez, Rodríguez Alfonso Rico. (1980). **MECÁNICA DE SUELOS**. Editorial Limusa, S.A. Anexo VII-A.

Balestrini, M. (2002). **COMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Consultores Asociados, Caracas, Venezuela. pp 74

Bellizzia C., M. (1968). **EDADES ISOTÓPICAS DE ROCAS VENEZOLANAS**. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Boletín de Geología 10 (19): pp 356-380.

Betancourt, Orlando. (1998). **PLAN DE EXPLOTACIÓN PARA APROVECHAMIENTO DE ARENA LAVADA EN QUEBRADA LOS BÁEZ, SECCIÓN ADYACENTE A BIENHECHURÍAS DE MARÍA FLORES**, trabajo de grado, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.

Bowles, Joseph (1981) **MANUAL DE LABORATORIO E INGENIERÍA CIVIL**. Series McGraw hill, Latinoamericana, pp. 175 – 180.

Bueno, E. (1981). **ASPECTOS DE LA HIDROGEOLOGÍA DE LA GUAYANA VENEZOLANA M.A.R.V.R.** Febrero. Pp 86.

Chih Ted Yang (1996) **SEDIMENT TRANSPORT. THEORY AND PRACTICE**. Editorial Mcgraw-Hill.Pp 21-24.

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

Corporación Venezolana de Guayana, C.V.G. **TECMIN**. (2007). **INFORME TÉCNICO DE RECURSO NATURALES**. Hoja NB-194 .Puerto Ordaz. Venezuela.

Corrales, J. (1977). **ESTRATIGRAFIA**. Editorial Ruedo. Madrid – España. Pp 717.

CVG Tecmin, C.A. (2002). **INVENTARIO DE RECURSOS NATURALES DEL ESTADO BOLIVAR**. Puerto Ordaz.

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

Dewitt, D. y D. Swanson (1969). **DISTINTION BETWEEN DUNE, BEACH, Y RIVES SANDS FROM TEXTURAL CHARACTERISTIE**. Jour Sed. Petro. Volumen 27. Number 9. Pp 514-529

Ferrer, Alberto y Rodríguez, Richard (1998). **ESTUDIO SOBRE LA VARIABILIDAD MORFOLÓGICA Y CONSTITUCIÓN DE LAS BARRAS DE ARENA EN EL SECTOR TARRAYERO (ISLA EL TRONCÓN) DEL RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR**. Trabajo Final de Grado. Estado Bolívar. Venezuela. Pp- 7,10-20.

Fuenmayor, Guillermo. (1993). **SEGURIDAD EN LA NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO TRAMO “EL JOBAL – MATANZAS”**. I Seminario de Seguridad en los Canales de navegación. Instituto Nacional de Canalizaciones, Caracas, Venezuela, pp. 145 – 160.

Fuerza Armadas Venezolana. (F.A.V). **INFORMES DE AVANCES METEOROLÓGICO DE CIUDAD BOLIVAR**. Del 1997-2007.

Galloway, W. y D. Hobday (1983). **TERRIGENOUS CLASTIC DEPOSITIONAL SYSTEMS**. Springer- Verlag, New Cork. Pp 201.

García, M y Maza J. (1998). **ORIGEN Y PROPIEDADES DE LOS SEDIMENTOS. CAPÍTULO 6 DEL MANUAL DE INGENIERÍA DE RÍOS**. México. Pp 258.

García, M. y Maza, J. (1998). **TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. CAPÍTULO 7 DEL MANUAL DE INGENIERÍA DE RÍOS**. México. pp 111.

González de Juana, C., Iturralde, J. y Picard, X. (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Tomo I. Ediciones Foninves. Caracas. pp 69-72.

Guerrero, D. y Malave C. (2007), **ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DEL SECTOR CAICARA – CABRUTA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Trabajo de Grado, Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

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.

Hurley, P. M. y Gaudette, H. E. (1977). **GEOLOGÍA DE LOS GRANITOS DEL NORTE DEL ESTADO BOLÍVAR**. Sociedad de Geólogos de América.

Instituto de Mecánica de Fluidos, UCV (1998). **EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL RÍO ORINOCO TRAMO EL JOBAL – MATANZAS**. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Pp 4.5 16-26, 32,40.

Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V (1999). **SISTEMA FLUVIAL ORINOCO – APURE**. MANUAL 30 de abril de 2014 [[http:// imf.ing.ucv.ve/](http://imf.ing.ucv.ve/)].

Instituto Nacional de Canalizaciones (1990). **EL RIO ORINOCO Y EL CANAL DE NAVEGACION**. Puerto Ordaz.

Instituto Nacional de Canalizaciones. I.N.C (2000). **INFORME DE AVANCES MENSUALES DE LAS ALTURAS LIMNIMÉTRICAS DEL RÍO ORINOCO**. (Período 1996-2006). Puerto Ordaz. pp – 15.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2017). **REGISTRO DE VARIABLES HIDROCLIMÁTICAS**. [www. Inameh.gob.ve](http://www.inameh.gob.ve). fecha de consulta: 17 Abril de 2017.

Leeder, M. (1982).**SEDIMENTOLOGY.PROCESS AND PRODUCT**. London George Allen and Unwin. Boston Sydney. pp 60-620.

Léxico Estratigráfico de Venezuela (1956). **BOLETÍN GEOLOGÍA**. Primera Edición. Editorial Sucre, Caracas, Venezuela. Pp 524-525.

Léxico Estratigráfico de Venezuela (1999). **BOLETÍN GEOLOGÍA**. Tercera Edición. Editorial Sucre,Caracas, Venezuela. Pp 414-415.

Malpica C. Rojas D. (2015). **ANALISIS DE LOS ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS Y SEDIMENTOLOGICOS DE LA ISLA LA BURRA, UBICADA EN EL RIO ORINOCO, ENTRE LOS MUNICIPIOS CEDEÑO, ESTADO BOLIVAR Y LAS MERCEDES, ESTADO GUARICO, VENEZUELA**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Estado Bolívar.

Marín, L., (2000), **ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DEL SECTOR ARAMAYA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Trabajo de Grado, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.

McCandless, G. C. (1965). **RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DE LA PARTE OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR**. Boletín de Geología Vol. 7 (13). Pp 19-28.

Mendoza, V. (2000). **EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA Y SU RELACIÓN CON EL ESCUDO SUDAERICANO**. Ciudad Bolívar. Pp 25 – 37.

Mendoza, V. (1975). **GEOLOGÍA DE LA PARTE NORTE DEL TERRITORIO FEDERAL AMAZONAS, VENEZUELA.** V Congreso Geológico Venezolano. Vol. 1. Pp 363-404.

Mendoza, Vicente. (1972). **GEOLOGÍA DEL ÁREA DEL RÍO SUAPURE, PARTE NOROCCIDENTAL DEL ESCUDO DE GUAYANA,** Estado Bolívar, Mem, IX Conf., Geol., Inter.-Guayana, (Ciudad Guayana), Venezuela. Pp 70.

Miall, A (1978). **FLUVIAL SEDIMENTOLOGY.** G.S.P.G. Memory 5.Calgary, Alberta, Canadá. Pp 859-862.

Miall, A. (1981) **ANALYSIS OF FLUVIAL DEPOSITIONAL SYSTEMS.** Petrol. Geol Conference. Pp 68, 69.

Ministerio de infraestructura Instituto Nacional de Canalizaciones Gerencia Canal Orinoco (2000). **PROPUESTAS DE ASCENSOS Y RECLASIFICACIÓN DE CARGOS AL PERSONAL DIVISIÓN BASE CAICARA.** Caicara- Estado Bolívar. Venezuela. Pp 6 – 20.

Ministerio de Obras Públicas. **MANUAL DE ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD.** Venezuela. Marzo 1985. Venezuela. M.O.P.E -115.

Pravia, José René. (1998). **APUNTES DE MECÁNICA DE SEDIMENTACIÓN.** Tomo II, pp. 347 – 376.

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.

Ríos, J. H. (1969). **GEOLOGÍA DE LA REGIÓN DE CAICARA, ESTADO BOLÍVAR.** IV Congreso Geológico de Venezuela, Caracas. MEM., III: pp 1759-1782.

Rodríguez, Richard y Ferrer, Alberto. **ESTUDIO SOBRE LA VARIABILIDAD MORFOLÓGICA Y CONSTRUCCIÓN DE LAS BARRAS DE ARENA EN EL SECTOR TARRAYERO (ISLA EL TRONCÓN) DEL RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR.** Trabajo de grado. Noviembre 1998. Pp 36-40

Rodríguez, J. (2012). **DETERMINACIÓN DE LOS MECANISMOS DE TRANSPORTE DE LA PARTE ESTE DE LA ISLA FAJARDO MUNICIPIO**

**CARONÍ, RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR.** Trabajo de Grado no Publicado de la Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar.

Sabino C. (2006). **EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.** Editorial Panapo. Caracas. 134-145

Shields, A. (1936). **APPLICATION OF SIMILARITY PRINCIPLES, AND TURBULENCE RESEARCH TO BED-LOAD MOVEMENT.** California of Institute of Technology. Pasadena.

Silva, G. (2003). **EROSIÓN FLUVIAL Y TRANSPORTE SEDIMENTOS EN RÍOS.** Trabajo de grado. Colombia. Pp 158.

Silva E y Alcalá H. (2005). **CARACTERIZACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO DE LAS ISLAS OROCOPICHE, EL DEGREDO Y PANADERO UBICADAS EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LAS DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS OROCOPICHE Y MARHUANTA, RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR.** Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Estado Bolívar. Pg 16-27, 171.

Spaletti Luis A. (2007). **TEXTURA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS** (10 de mayo 2012). Facultad de Ciencias y Museo UNLP. <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/sedimentologia/pdf/textura.pdf>.

Sthraler, N. Arthur (1989). **GEOGRAFÍA FÍSICA.** Tercera Edición Barcelona, España. Pp 447-448.

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

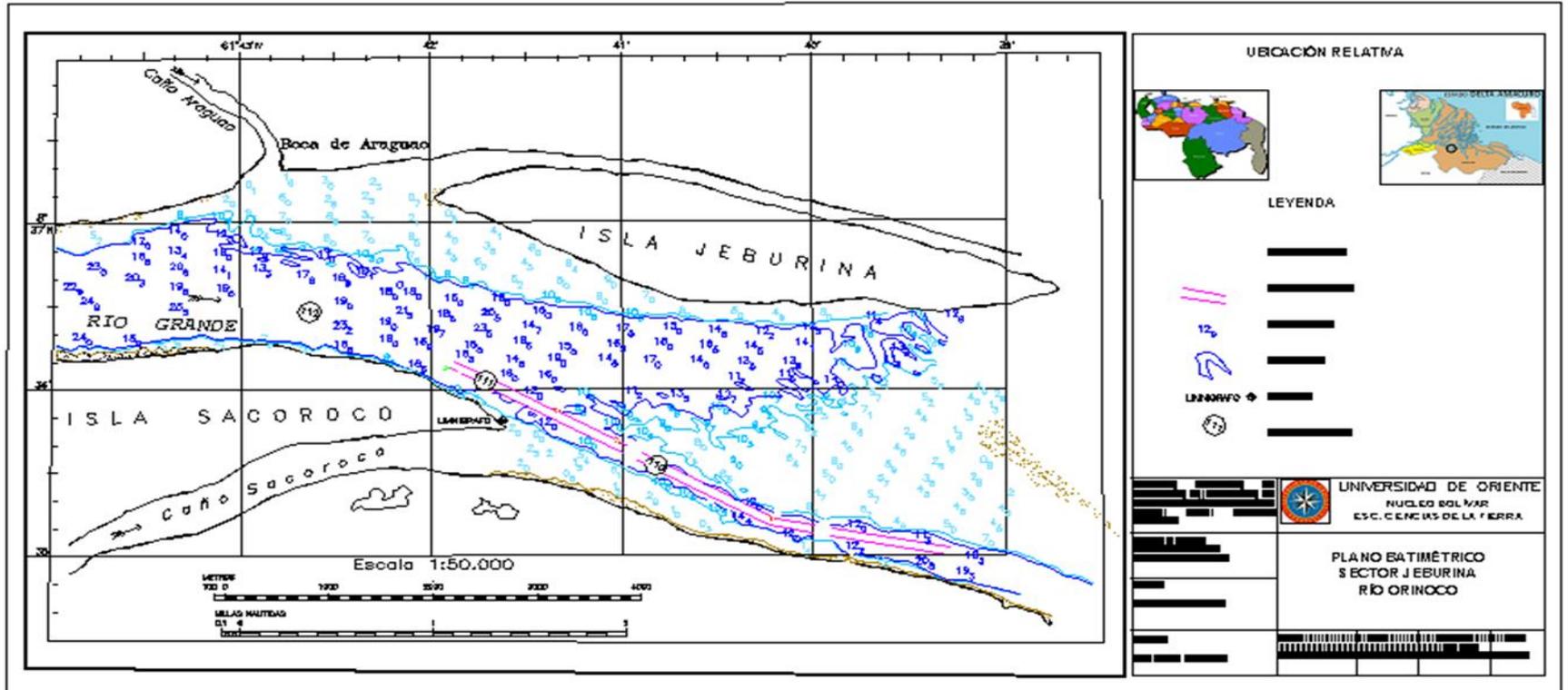
Torres, Mayra. (1999). **ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DEL CONJUNTO DE ISLAS BERNABELA E ISLOTE DEL RÍO ORINOCO. ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.** Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Estado Bolívar.

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

Yang, Chih Ted. (1996). **SEDIMENT TRANSPORT. THEORY AND PRACTICE.** Editorial McGraw-Hill. New York, pp 19 – 37.

## **APÈNDICES**

**APÉNDICE A**  
**PLANO BATIMÉTRICO DEL ÁREA DE ESTUDIO**



A.1 Plano batimétrico del sector Jeburina del río Orinoco.

**APÉNDICE B**  
**FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS Y**  
**MORFOSCÓPICOS**

## ENSAYO GRANULOMÉTRICO.



B.1 Pesaje de tamices para análisis granulométrico según Norma ASTM D 422.



B.2 Agregando la muestra en los tamices.



B.3 Tamizado de las muestras para el análisis granulométrico según Norma ASTM D 422.

## ENSAYO MORFOSCÓPICO.



B.4 Conteo de formas de partículas con la lupa eléctrica para el análisis morfoscóptico.

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

<b>Título</b>	<b>PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS DEL RÍO ORINOCO EN EL SECTOR JEBURINA. ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA</b>
<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>ACOSTA BOLÍVAR, JUAN DANIEL</b>	<b>CVLAC</b>	<b>22.848.515</b>
	<b>e-mail</b>	Juandaniel_jd_6@hotmail.com
	<b>e-mail</b>	
<b>GARCÍA ALVAREZ, EDUARD RAFAEL</b>	<b>CVLAC</b>	<b>26.623.648</b>
	<b>e-mail</b>	Rafaelgarcia1897451@a@gmail.
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Palabras o frases claves:

<b>Jeburina</b>
<b>Movimiento sedimentos</b>
<b>Movimiento incipiente</b>
<b>Puerto Ordaz</b>

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

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Mecánica de sedimentación	Erosión, depositación y transporte

### Resumen (abstract):

El objetivo fundamental del presente trabajo de grado consiste en analizar el movimiento de sedimentos que se produce en el lecho del cauce del sector Jeburina, ubicado entre las progresivas fluviales: millas 107 y 112 del canal de navegación del río Orinoco, en el estado Delta Amacuro. La estrategia adoptada para dar respuesta al problema planteado es a través de un diseño documental y de campo. Para la realización de la presente investigación se describió el comportamiento de las corrientes con base a la correlación de los niveles del río, velocidades y caudales con base a los datos que les suministro la CVG Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco (CVG GCNO). Se tomaron muestras del lecho y se describieron texturalmente los materiales del lecho del cauce mediante el análisis granulométrico y el análisis morfométrico de las partículas. Posteriormente, se construyeron las secciones transversales, con información proveniente de levantamientos batimétricos costa a costa. Como resultados relevantes se determinó que los materiales del cauce se corresponden con arenas mal gradadas. Hidráulicamente los niveles del agua varían de acuerdo al ciclo hidrológico de la región es decir ascendiendo en la época de lluvias y descendiendo en la época de sequía. La elaboración de las secciones transversales y del modelo de flujo de sedimentos del cauce permitió observar que las mayores profundidades del sector se ubican en su parte sur, paralela a la concavidad de la ribera. La morfología del cauce permitió suponer que los sedimentos se movilizan siguiendo trayectorias subparalelas a la ribera sur del sector en estudio. Finalmente utilizando el modelo de Visher permitió determinar que los materiales del cauce se mueven siguiendo la distribución; por saltación (97 %), por suspensión (1 a 2 %) y por tracción (1 a 2 %).

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

**Contribuidores:**

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail				
<b>ECHVERRÍA DÍAZ, DAFNIS JOSÉ</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input checked="" type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>4.506.408</b>			
	<b>e-mail</b>	<b>Djed4506@hotmail.com</b>			
	<b>e-mail</b>				
<b>ENRIQUE ACOSTA</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>				
	<b>e-mail</b>				
	<b>e-mail</b>				
<b>ESPAÑA, JUAN</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>				
	<b>e-mail</b>	<b>@gmail.com</b>			
	<b>e-mail</b>				
	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>				
	<b>e-mail</b>				
	<b>e-mail</b>				

**Fecha de discusión y aprobación:**

Año	Mes	Día
2023	11	

**Lenguaje** Spa

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

### Archivo(s):

Nombre de archivo
Tesis-.Doc
Movimiento de sedimentos sector Jeburina río Orinoco. Edo. Delta Amacuro, Venezuela

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

### Alcance:

**Espacial:** Sector Jeburina, río Orinoco, estado Delta Amacuro, Venezuela

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

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

**Área de Estudio:** **Mécánica de sedimentación**

**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.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR <i>Martínez</i>
FECHA <i>5/8/09</i> HORA <i>5:30</i>

Cordialmente,

*Juan A. Bolaños Curyelo*  
Secretario

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

JABC/YGC/maruja

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."**



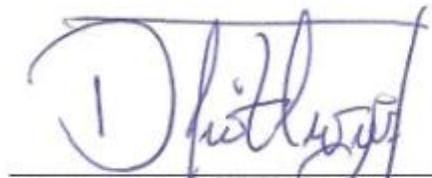
---

**Juan Daniel Acosta Bolívar**  
C.I.: V-22.848.515



---

**Eduard Rafael García Alvarez**  
C.I.: V-26.623.648



---

**TUTOR**  
**Dafnis J. Echeverría D.**  
C.I. No 4.506.408

---

**Juan Daniel Acosta Bolívar**  
C.I.: V-22.848.515

---

**Eduard Rafael García Alvarez**  
C.I.: V-26.623.648

---

**TUTOR**  
**Dafnis J. Echeverría D.**  
**C.I. No 4.506.408**

