

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



**PREDICCIÓN DE LAS FORMAS DEL LECHO DEL SECTOR
YA-YA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO,
VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE GRADO
PRESENTADO POR LOS
BACHILLERES JUAN
GUTIÉRREZ Y LAURA
GUTIÉRREZ PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, JUNIO 2018



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

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, intitulado **PREDICCIÓN DE LAS FORMAS DEL LECHO DEL SECTOR YA-YA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA**, presentado por los bachilleres **JUAN C. GUTIÉRREZ R. y LAURA M. GUTIÉRREZ R.**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre:	Firma:
Prof. Dafnis Echeverría	
_____ (Asesor)	_____
Prof. Javier Ramos Madrid	
_____ (Jurado)	_____
Prof. Francisco Monteverde	
_____ (Jurado)	_____
_____	_____
Prof. Javier Ramos Madrid	Prof. Francisco Monteverde
Jefe del Dpto. de Ingeniería Geológica	Director Escuela Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar _____ de _____ 2018.

DEDICATORIAS

Lleno de orgullo, de amor y esperanza, dedico este proyecto a cada uno de mis seres queridos, quienes han sido mis pilares para seguir adelante.

Es para mí una gran satisfacción poder dedicarles a ellos, lo que con mucho esfuerzo, esmero y trabajo me he ganado.

A mis padres Ynés y Juan, mis abuelos Josefa, Jesús, Margarita y Marcos, porque ellos son la motivación de mi vida, mi orgullo de ser lo que soy.

A mi hermana, Laura, porque me siento feliz de haber culminado mi meta junto a ella, gracias por confiar siempre en mí.

Dedicado a toda mi familia por confiar en mí, mis tíos, Santos, Ana, Edymar, Jesús, Junelia, Amarilis, Beatriz, gracias por ser parte de mi vida y permitirme ser parte de su orgullo.

A todos mis amigos por permitirme aprender más de la vida a su lado, con sus momentos serios y relajados, esto es posible gracias a ustedes.

Juan Gutiérrez

A Dios,

Por haberme permitido llegar hasta este punto, regalarme salud para lograr mis objetivos, fortaleza para enfrentar los retos, sabiduría para poder discernir en mi vida.

A mis padres, Ynés y Juan

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me ha infundado siempre, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi hermano, Juan

Mi amigo, compañero y apoyo. Formarnos juntos como profesionales me llena de satisfacción y alegría. Gracias por creer en mí.

A mi universidad,

La que me abrió las puertas a un nuevo mundo, me formó personal y profesionalmente y a quien le debo parte de lo que soy hoy en día.

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación.

Laura Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Santísima Trinidad por los favores concedidos, por darme sabiduría, salud y fortaleza en todo este tiempo, para lograr una de mis metas que es ser Ingeniero Geólogo.

A mis padres, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye este. Me formaron con reglas y la libertad del mundo, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Al apoyo incondicional de mi princesa por nunca dejarme solo, tener paciencia, dedicación y luchar codo a codo a mi lado para no dejarme caer y siempre apoyarme en este camino.

A todo el apoyo de mi familia, abuelos y tíos, que sin sus oraciones este camino hubiese sido más largo.

A mis profesores Dafnis E., Javier R., Francisco M., Zulimar G., Mercedes A., Ángel M., Jorge A., Rosario R., por ser buenos amigos y haberme mostrado lo especial que es mi carrera dándome lo mejor de ustedes.

Juan Gutiérrez

A Dios,

Por darme la oportunidad de vivir, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, además de su infinito amor y bondad.

A mi familia,

Por su amor, apoyo y comprensión, por siempre creer en mi capacidad. Gracias por haber fomentado en mí, el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

A mi amigo y tutor Dafnis José,

Por su paciencia, impulso y motivación a superarme, por su tiempo compartido, por ser mi maestro y mi amigo.

A mis amigos y compañeros,

Nunca imagine el significado tan grande que tendrían para mí. Gracias a todos por permitirme ser parte de sus historias y estar plasmados en la mía.

A mi Javi y Francisco,

Gracias totales, por estar, por apoyarme y ser mis amigos.

A mis profesores,

Por enseñarme a valorar los estudios, por su tiempo, dedicación y sacrificio, así como por la sabiduría transmitida.

A mi universidad,

Porque en sus aulas recibí las más gratas enseñanzas que nunca olvidare.

Laura Gutiérrez

RESUMEN

El objetivo central de este trabajo de investigación es la predicción de las formas del lecho que se producirán en el sector Ya-ya, estado Delta Amacuro, Venezuela. La investigación está orientada con una metodología de tipo descriptiva y diseño de campo. Para el logro de los objetivos trazados, se realizó un muestreo del material del lecho, tomando cinco (5) muestras del mismo, para conocer su distribución granulométrica y el grado de madurez de los sedimentos. Debido a la complejidad hidrodinámica presente en la zona de estudio, se requirió la realización de un modelo tridimensional, así como también la elaboración de secciones transversales, para conocer los patrones preferenciales de flujo presentes. Así mismo, se caracterizó hidráulicamente el sector Ya-ya, para estimar la relación de los niveles, caudales y velocidades de corriente medidos en el sector. Por otra parte, aplicando los criterios de movimiento incipiente de Hjulström y Van Rijn se determinó las velocidades que ameritan los materiales presentes en el sector, para comenzar el régimen de movimiento, conjuntamente siguiendo los principios de Vishner se definió los mecanismos de transporte de las partículas. Finalmente, basados en los modelos matemáticos de Simons y Richardson, Engelund y Hansen se predijeron las tendencias de forma que tendrán los sedimentos del sector Ya-ya. Entre los resultados relevantes se pueden citar los siguientes: los sedimentos presentes corresponde a arenas mal gradadas con pocos finos o ninguno de tipo SP, predominan las formas sub-redondeadas y sub-angulosas en las partículas, las zonas de flujo preferencial de los sedimentos y las corrientes se encuentran hacia la parte central del canal, los parámetros hidráulicos analizados presentan una relación proporcional entre ellos, las velocidades necesarias para que las partículas entren en movimiento oscilan entre 2,30 cm/s y 20 cm/s, el mecanismo de transporte predominante es de saltación, bajo las condiciones evaluadas, los sedimentos presentan configuraciones de forma de tipo dunas y antidunas.

CONTENIDO

DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE APÉNDICES	xiii
LISTA DE ANEXOS	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR	4
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Objetivos de la investigación	6
1.2.1 Objetivo general	6
1.2.2 Objetivos específicos	6
1.3 Justificación de la investigación	7
1.4 Alcance de la investigación	8
CAPÍTULO II. GENERALIDADES	9
2.1 Ubicación geográfica del área.....	9
2.2 Acceso al área de estudio.....	10
2.3 Características climáticas del sector Ya-ya.....	10
2.4 Geología Regional	12
2.4.1 Complejo Geológico de Imataca.....	12
2.4.2 Formación Mesa.....	13
2.4.3 Depósitos aluvionales.....	13
2.5 Geología del área	14
2.6 Hidrografía del río Orinoco	14
2.7 Canal de navegación del río Orinoco.....	15
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	17
3.1 Antecedentes de la investigación	17

3.2	Fundamentos teóricos	18
3.2.1	Canales Abiertos	18
3.2.2	Transporte de sedimentos.....	19
3.2.3	Morfología de los clastos	23
3.2.4	Número de Froude.....	25
3.2.5	Formas del fondo	25
3.2.6	Tipos de régimen de flujo	28
3.2.7	Modelamiento hidráulico del flujo.....	29
3.2.8	Definición de términos básicos	30
3.3	Bases Legales.....	31
3.3.1	Decreto de rango, valor y fuerza de la ley de canalización y mantenimiento de las vías de navegación	31
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE TRABAJO		35
4.1	Tipo de investigación.....	35
4.2	Diseño de investigación	36
4.3	Población de la investigación.....	36
4.4	Muestra de la investigación	37
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
4.5.1	Técnicas de recolección de datos	38
4.5.2	Instrumentos de recolección de datos	39
4.6	Flujograma de la metodología de trabajo.....	39
4.7	Metodología empleada para el cumplimiento de los objetivos específicos ..	41
4.7.1	Compilación de información.....	41
4.7.2	Trabajo de campo	42
4.7.3	Ensayos de laboratorio	42
4.7.4	Creación de modelo tridimensional del sector Ya-ya	45
4.7.5	Elaboración de secciones transversales.....	45
4.7.6	Construir correlaciones entre velocidades, caudales y niveles del río ..	47
4.7.7	Describir las condiciones de movimiento de los sedimentos que ocurren en el lecho del cauce	47
4.7.8	Calcular los parámetros de ingresos para los modelos matemáticos	51

4.7.9	Redacción del informe final	54
CAPITULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.. 55		
5.1	Caracterización textural de los materiales del lecho del cauce del sector Ya-ya del río Orinoco	55
5.1.1	Análisis granulométrico	55
5.1.2	Análisis morfoscopico.....	56
5.2	Determinación de las relaciones entre la morfología del lecho del cauce y los patrones de flujo de la corriente fluvial.....	58
5.3	Caracterización hidráulica el sector Ya-ya con base a los registros de aforo y niveles del río medidos y registrados por I.N.C.....	59
5.4	Descripción las condiciones de movimiento de los sedimentos que ocurren en el lecho del cauce con base a los criterios de Hjulström, Van Rijn y Visher.	62
5.4.1	Método de Hjulström	62
5.4.2	Método de Van Rijn.....	63
5.4.1	Método de Visher.....	65
5.5	Predecir las formas del lecho que se producirán en el sector Ya-ya de acuerdo a los modelos matemáticos de Simons- Richardson, Engelund – Hansen.	66
5.5.1	Modelo de Simons y Richardson	66
5.5.2	Modelo de Engelund y Hansen	68
CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES.....		70
	Conclusiones	70
	Recomendaciones.....	72
REFERENCIAS		73
APÉNDICES.....		78
ANEXOS		95

LISTA DE FIGURAS

		Página
2.1	Ubicación relativa del sector Ya-ya.....	9
2.2	Ubicación del Canal de Navegación del Orinoco, trayecto Matanzas – Boca Grande, sector Ya-ya. (Modificado de I.NC., 2002).....	10
2.3	Tipos de climas según Köppen del Delta del Orinoco. (Modificado de Sánchez, G. 2017.....	11
2.4	Localización del Canal de Navegación del río Orinoco, Matanzas – Boca Grande. (Ingeniería de Caura, 1990).....	16
3.1	Representación esquemática del transporte de sedimentos. (García, S. 2005).....	22
3.2	Forma y redondez de los granos. (Modificado de Nichols, G. 2009).....	24
3.3	Ondas sedimentarias del tipo micro y mesoformas.(Niño, Y. 2004).....	28
4.1	Flujograma de investigación.....	40
4.2	Relaciones entre los Datum N.A.B y N.M.M para el Sector Ya-ya.....	46
4.3	Diagrama de Hjulström (1935) (Modificado de Yang, C. 1966).....	48
4.4	Diagrama de Shields. (Van Rijn 1989).....	50
4.5	Formas del lecho según Simons y Richardson (1966) (Guevara, M. 2003).....	53
4.6	Clasificación de la forma de lecho basada en el análisis de estabilidad de datos de laboratorio. (Modificado de Yang, C. 1966).....	54
5.1	Histograma de frecuencia del análisis morfoscopico. Muestra M1.....	57
5.2	Histograma de frecuencia del análisis morfoscopico. Muestra M2.....	57
5.3	Modelo tridimensional del sector Ya-ya.....	59
5.4	Correlación de los parámetros hidráulicos del sector Ya-ya.....	61
5.5	Diagrama de Hjulström aplicado.....	62
5.6	Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho (Van Rijn, 1989).....	65
5.7	Modelo de Simons y Richardson aplicado.....	67
5.8	Modelo de Engelund y Hansen aplicado.....	68

LISTA DE TABLAS

	Página
2.1	Características climáticas del sector Ya-ya – Ribera Norte..... 12
2.2	Características climáticas del sector Ya-ya – Ribera Sur..... 12
5.1	Coordenadas de ubicación de los puntos de muestreo en el sector Ya-ya.... 55
5.2	Resultados de los análisis morfoscópico de las partículas..... 56
5.3	Datos de aforo del sector Ya-ya, sección Playa del Medio. (I.N.C. 2002).... 60
5.4	Parámetros hidráulicos en el sector Ya-ya..... 62
5.5	Velocidades límites para que se produzcan los estados de movimiento de los sedimentos..... 63
5.6	Fracción porcentual que se moviliza según mecanismo de Visher..... 65

LISTA DE APÉNDICES

	Página
A. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS POR EL MÉTODO DE TAMIZADO.....	79
B. SECCIONES TRANSVERSALES DEL CANAL ARTIFICIAL DRAGADO.....	85
C. CURVAS DE FRECUENCIA ACUMULADA SEGÚN EL MÉTODO DE VISHER.....	89
D. FOTOGRAFÍAS.....	93

LISTA DE ANEXOS

1. PLANO BATIMÉTRICO DEL SECTOR YA-YA.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene como finalidad la predicción de las formas del lecho que se producirán en el sector Ya-ya del canal interior del río Orinoco, de acuerdo a los modelos matemáticos de Simons – Richardson, Engelund – Hansen, así como también conocer la hidrodinámica de sedimentación, cuál es la interrelación entre el movimiento del flujo del agua y el movimiento del flujo de sedimentos, cuales son los mecanismos que gobiernan el flujo de los sedimentos en el sector, logrando predecir las formas de fondo en este tramo.

El canal de navegación del Orinoco en el tramo Matanza – Boca Grande comienza su recorrido desde la milla 0, ubicada en alta mar (N 8°55'56"; W 60°11'20") hasta la milla 195. El Sector Ya-ya está situado aguas abajo del ápice del delta a través del caño Río Grande, entre las millas náuticas 130 y 140, el cual constituye un tramo de la vía fluvial sujeto a sedimentación. (Ingeniera Caura, 1994)

La vía fluvial del Orinoco es un factor vital para el desarrollo de las industrias básicas instaladas en Ciudad Guayana, así como de otras actividades económicas de la zona y del territorio de Delta Amacuro, ya que el eje de navegación del río Orinoco constituye la mejor alternativa económica para el transporte de productos e intercambio de materias primas.

Desde el punto de vista de la hidrología, este trabajo representa un intento para aplicar medidas efectivas tendientes a controlar o minimizar el problema de la sedimentación, ya que el proceso sedimentario se repite todos los años, en una forma bastante regular.

La investigación presentada a continuación está dividida en 5 capítulos, los cuales proporcionan la información necesaria para la comprensión de todo el procedimiento y la aplicación metodológica, dichos capítulos serán descritos en los párrafos siguientes:

Capítulo I. Situación a investigar: en esta etapa de la investigación se explicarán los argumentos que soportan el planteamiento del problema expuesto en el mismo, se desarrolla tanto el objetivo general como los específicos, que llevaron a la orientación para la elaboración del trabajo de investigación, a su vez se plantea el alcance y justificación de la investigación.

Capítulo II. Generalidades: en esta etapa se describe la ubicación geografía de la zona en estudio, el acceso del área, características físicas y naturales, la geología regional y/o local.

Capítulo III. Marco teórico: en este se procederá a la búsqueda de investigaciones relacionadas con el tema en estudio, sustentando los elementos que requiere la presente investigación, también se explica una serie de compendios conceptuales referentes a la hidráulica fluvial, sirviendo de base para el desarrollo del mismo y así podemos afianzar los resultados de la investigación.

Capítulo IV. Metodología de trabajo: en esta fase se indica de manera precisa la forma en que se desarrolla el estudio para obtener probables soluciones al problema que se está planteando, inicialmente por el tipo y diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y se elabora un flujograma adaptado a los objetivos específicos de dicha investigación con su respectiva descripción.

Capítulo V. Análisis e interpretación de los resultados: primero se caracterizarán texturalmente los materiales presentes del lecho del cauce del sector, se estudiará las relaciones entre la morfología del lecho del cauce y los patrones del flujo de la corriente fluvial, seguidamente se realizará la caracterización hidráulica del sector con base a los registros de aforo y niveles del río medidos, de igual manera, se describirán las condiciones de movimiento de los sedimentos que ocurren en el lecho del cauce con base a los criterios de Hjulström, Van Rijn y Visher, por medio de los modelos matemáticos de Simons – Richardson, Engelund – Hansen finalmente, se predecirán las formas de fondo que se producen en el sector Ya-ya.

Conclusiones y recomendaciones: se presentan de manera precisa los aspectos derivados del estudio y del análisis de resultados, demostrando el logro de los objetivos planteados y haciendo las recomendaciones pertinentes, determinando así, las configuraciones de formas que se presentarán en el sector Ya-ya del Canal Navegable de río Orinoco.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

Desde el comienzo de la civilización y de la evolución de las comunidades que se iban estableciendo, existe la necesidad de transportar personas, equipamiento, materiales y productos por vías acuáticas. Como resultado, hubo que incrementar la profundidad de muchas vías fluviales, a fin de darles acceso a nuevos puertos. El tránsito a través del agua ha demostrado una y otra vez ser preferible al terrestre tanto en términos medioambientales como económicos, por lo que la importancia del traslado de productos a través del trayecto marítimo es más evidente actualmente.

La mayoría de los grandes puertos en el mundo requieren dragado en algún momento para ampliar los canales de acceso y para ofrecer profundidades adecuadas a lo largo de las instalaciones portuarias, el dragado debe formar por tanto parte íntegra de cualquier plan de infraestructura para garantizar que puertos, así como zonas residenciales y de ocio puedan satisfacer las crecientes demandas de uso, estos canales, además, suelen requerir un dragado de mantenimiento frecuente y periódico debido a la constante sedimentación que pueden llegar a presentar.

La base económica de Venezuela se ha centrado en la producción de materias primas para la exportación como son el petróleo y el hierro. Dichos productos son transportados a esos mercados internacionales en el caso específico del petróleo a través del Canal de Maracaibo al noreste del país, en tanto la carga de hierro ha utilizado desde sus comienzos al río Orinoco como medio de transporte.

La materia prima hace un recorrido a través de un tramo de 361 km (195 millas náuticas), desde Ciudad Guayana hasta su desembocadura en el Océano Atlántico. (Instituto Nacional de Canalizaciones I.N.C., 1997).

El canal de navegación del río Orinoco, ha conllevado un importante desarrollo industrial originando ello unas demandas adicionales de transporte y por ende un mayor uso de la vía fluvial, dicho canal presenta características geomorfológicas e hidrológicas con una fuerte actividad de corrientes, mareas y una velocidad de arrastres de sedimentos que debido a la intensa navegación, exigen dragar continuamente 13.5 millones de m³/año en sectores que así lo requieran.

Atravesando el caño Río Grande, se encuentra el sector Ya-ya, este tramo está sujeto a altas índices de sedimentación durante todo el año, por lo que requiere debido al contaste transporte fluvial, el mantenimiento frecuente por medio de un sistema de dragado. Continuamente, se subestiman la cantidad y la importancia de cuestiones que deben considerarse en la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de proyectos de dragado, y el delicado equilibrio entre medioambiente e ingeniería que se debe conseguir. Uno de los aspectos de mayor interés es predecir las condiciones hidráulicas y sedimentológicas conducentes a la formación de las distintas configuraciones de formas de fondo, producto de la acumulación de sedimentos.

Debido a que el proceso sedimentario se repite anualmente en una forma bastante regular, para aplicar medidas tendientes a controlar o minimizar el problema de la sedimentación y elaborar en forma idónea los programas de dragado adaptados a la dinámica sedimentaria del río Orinoco en el sector Ya-ya, se requiere conocer el comportamiento del río Orinoco en este tramo; la hidrodinámica de sedimentación que presenta, cuál es la interrelación entre el movimiento del flujo del agua y el movimiento del flujo de sedimentos, cuáles son los mecanismo que gobiernan el flujo de los sedimentos en el sector, lo cual permite conocer más a fondo los tipos de

materiales suspendidos y de fondo que se presentan en el río y la granulometría de los mismos, qué cantidad y en qué forma se deposita el material.

Con lo planteado anteriormente, surgen las siguientes interrogantes: ¿Cuál es la clasificación textural de los materiales del lecho del cauce del sector Ya-ya?, ¿Cuáles son las relaciones entre la morfología del lecho del cauce y los patrones de flujo de la corriente fluvial?, Cómo se comporta hidráulicamente el sector Ya-ya?, ¿Cuáles son las condiciones de movimiento de los sedimentos que ocurren en el lecho del cauce?, ¿Cuáles serán las formas del lecho que se producirán en el sector Ya-ya?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Predecir las formas del lecho del sector Ya-ya del río Orinoco, estado Delta Amacuro, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar texturalmente los materiales del lecho del cauce del sector Ya-ya del río Orinoco.
2. Determinar las relaciones entre la morfología del lecho del cauce y los patrones de flujo de la corriente fluvial.
3. Caracterizar hidráulicamente el sector Ya-ya con base a los registros de aforo y niveles del río medidos y registrados por el Instituto Nacional de Canalizaciones.

4. Describir las condiciones de movimiento de los sedimentos que ocurren en el lecho del cauce con base a los criterios de Hjulström, Van Rijn y Visher.
5. Predecir las formas del lecho que se producirán en el sector Ya-ya de acuerdo a los modelos matemáticos de Simons – Richardson, Engelund – Hansen.

1.3 Justificación de la investigación

La sedimentación que se produce en el canal de navegación del río Orinoco varía a lo largo de toda su extensión, ocurriendo que en el sector Ya-ya existen altos índices de sedimentación que obliga a la ejecución de un intenso dragado en este sector. Uno de los aspectos de mayor interés para decidir en qué momento aplicar y que técnica utilizar para un sistema de dragado, es predecir las condiciones hidráulicas y sedimentológicas conducentes a la formación de las distintas configuraciones de fondo del lecho del cauce.

Esta investigación permitirá conocer como es el comportamiento del río Orinoco, en el sector Ya-ya ubicado entre las millas náuticas 133 y 140 del canal interior del río Orinoco, para saber cuál es su hidrodinámica de sedimentación, cuál es la interrelación entre el movimiento del flujo del agua y el movimiento del flujo de sedimentos, cuales son los mecanismos que gobiernan el flujo de los sedimentos en el sector, definiendo de esta manera, las condiciones necesarias para predecir las formas de fondo que se presentan en este tramo, información que servirá de sustento para aplicar medidas pertinentes para minimizar la acumulación de sedimentos presente en la vía de transporte fluvial, la cual es de considerable importancia para la exportación de materia prima proveniente de la región Guayana de nuestro país, justificando de esta manera el presente trabajo.

1.4 Alcance de la investigación

Esta investigación tiene como alcance la predicción de las formas del lecho que se producirán en el sector Ya-ya de acuerdo a los modelos matemáticos de Simons – Richardson, Engelund – Hansen, con base a los criterios Hjulström Van Rijn y Visher de movimiento de sedimentos.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área

El área de estudio topológicamente se identifica como el sector Ya-ya, está comprendido entre las millas 133 y 140 de la vía fluvial del Orinoco en el tramo Matanza – Boca Grande, aguas abajo del ápice del delta a través del caño Río Grande.

El Sector Ya-ya, está situado al norte del estado Monagas, limitado en su extremo occidental por el “Caño Tórtola” y el sector “Barrancas”, en su extremo oriental por la isla “Los Tres Caños” y en la parte sur por la isla “Tórtola”. (Figura 2.1)

Se ubica por las coordenadas geográficas $62^{\circ} 09'$ - $62^{\circ} 02'$ de longitud Oeste y $8^{\circ} 42'$ - $8^{\circ} 40'$ de latitud norte. (I.N.C., 1997). (Figura 2.2)



Figura 2.1 Ubicación relativa del sector Ya-ya.

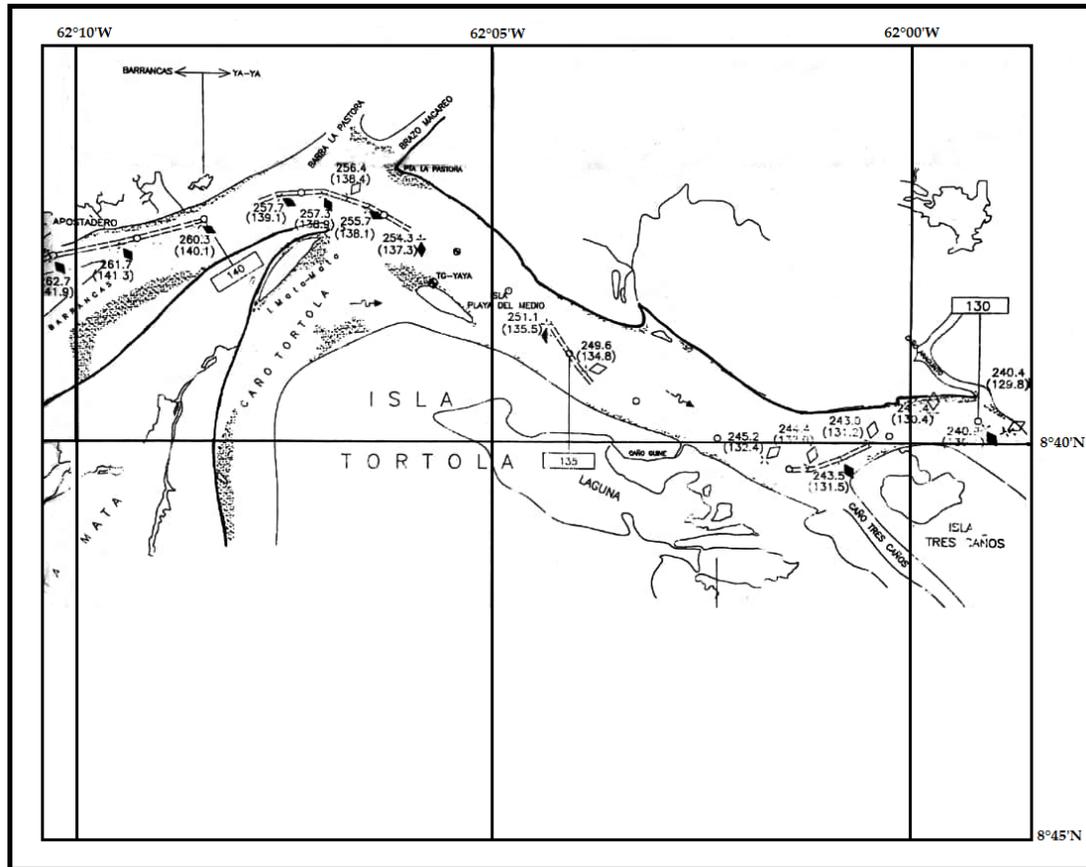


Figura 2.2 Ubicación del Canal de Navegación del Orinoco, trayecto Matanzas – Boca Grande, sector Ya-ya. (Modificado de I.N.C., 2002).

2.2 Acceso al área de estudio

Se puede acceder a la zona, donde se realiza el proyecto de investigación, por vía marítima a través de los terminales de chalana entre San Félix, estado Bolívar y los Barrancos de Fajardo en el estado Monagas. Desde el puerto de Barrancas se recorren 10 millas náuticas, aproximadamente río abajo hasta el área estudiada.

2.3 Características climáticas del sector Ya-ya

Las características climáticas de la zona en estudio están influidas principalmente por su latitud, proximidad al océano y existencia de grandes masas forestales. Según la clasificación de Köppen, predomina el clima tropical monzónico

También llamado Ami. Los factores que determinan este tipo climático son temperaturas altas durante casi todo el año, descendientes en Diciembre y Enero, con abundantes precipitaciones con una estación seca, vegetación considerable sin llegar a ser selvática. Se conoce también como clima monzónico porque las lluvias están asociadas a vientos estacionales y son de tipo orográfico. (Figura 2.3)

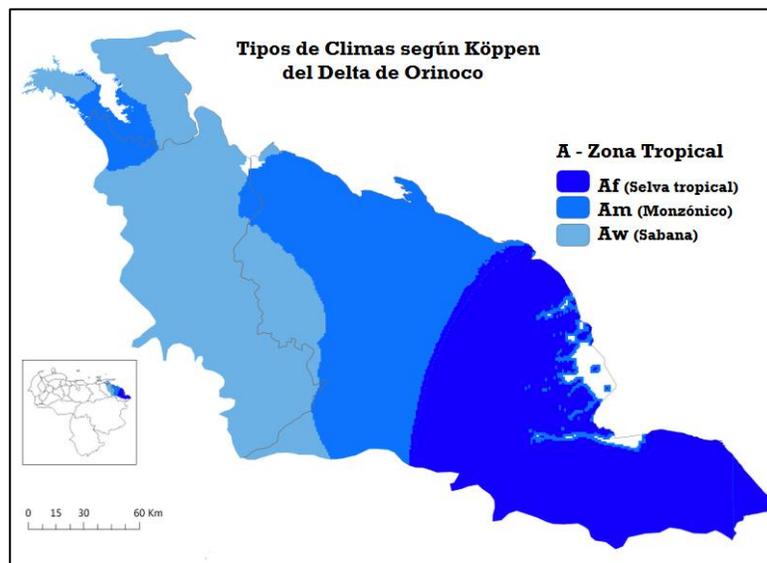


Figura 2.3 Tipos de climas según Köppen del Delta del Orinoco. (Modificado de Sánchez, G. 2017)

En cuanto al bioclima del área, corresponde a un bosque seco tropical (bs – T), la temperatura permanece prácticamente inalterable a lo largo de este tramo del canal de navegación y está por el orden de los 27°C. (Ingeniera Caura, 1994).

Las características climáticas del sector Ya-ya se presentan resumidas en las Tablas 2.1 y 2.2.

Tabla 2.1 Características climáticas del sector Ya-ya – Ribera Norte

Prog.	Bioclima	Temperatura media anual	Precipitación media anual	Evaporación media anual	Evapotranspiración	Meses secos	Meses húmedos
116 – 138	bs – T	26.6	1400	1800	1350	4	8
138 – 142		26.4	1150	1750	1313	4 a 5	7 a 8

Fuente: M.A.R.N. Sistemas Ambientales Venezolanos. Regiones Naturales 29.31 Y 32

Tabla 2.2 Características climáticas del sector Ya-ya – Ribera Sur

Prog.	Bioclima	Temperatura media anual	Precipitación media anual	Evaporación media anual	Evapotranspiración	Meses secos	Meses húmedos
130 – 138	bs – T	26.6	1100	1650	1238	4 a 5	7 a 8
138 – 139			950	1750	1313		

Fuente: M.A.R.N. Sistemas Ambientales Venezolanos. Regiones Naturales 29.31 Y 32

2.4 Geología Regional

Geológicamente, la zona en estudio está limitada hacia el Sur, por las rocas del Precámbrico Inferior del Complejo de Imataca y hacia el Norte por la Formación Mesa del Pleistoceno y Depósitos aluvionales recientes del Oriente Venezolano (Monagas)

La geología de la parte Sur es la que más atención merece, por ser este flanco donde corren el mayor número de tributarios del Orinoco, y también sus distribuciones principales.

En general los sedimentos presentes son de edad cuaternaria, constituidos principalmente por sedimentos sin consolidar.

2.4.1 Complejo Geológico de Imataca

Es una unidad rocosa, perteneciente al Precámbrico conformada principalmente por gnéises graníticos, gnéises anfibolíticos, migmatitas, charnocquitas y en menor proporción cuarcitas ferruginosas. El grado metamórfico es alto: sub-facies de la granulita piroxénica. (Corporación Venezolana de Guayana, 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, Iturralde y Picard, 1980).

2.4.2 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 (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1999).

Esta formación es la unidad estratigráfica más joven de la cuenca oriental de Venezuela. Su nombre se deriva de las extensas mesas que forman las características topográficas más estables de la región. Según varios autores, la edad de esta formación es Pleistoceno. Ocupa los llanos orientales de Guárico, Anzoátegui, Monagas y Sucre. El espesor de esta formación es variable disminuyendo de norte a Sur y aumentando de Este a Oeste.

Litológicamente está constituida por depósitos horizontales deltaicos, aluviales y palustres, con conglomerados que llegan a ser peñones hacia el frente montañoso y finos hacia los llanos. (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1999)

2.4.3 Depósitos aluvionales

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, C. et al.).

2.5 Geología del área

Estudios mineralógicos previos de Echeverría, Malpica y Jiménez en 2003, sobre el material del lecho de la zona, permiten inferir que los sedimentos depositados en el sector de estudio son producto en gran medida de la desintegración de las rocas del Escudo Guayanés, con un aporte significativo de material sedimentario provenientes principalmente del Complejo de Imataca, siendo estos últimos acarreados al lecho del cauce de los afluentes del norte de la ribera izquierda, durante los proceso de erosión, sedimentación y transporte que anualmente realiza el río como parte de los cuatro ciclos que cumple.

2.6 Hidrografía del río Orinoco

El río Orinoco nace al sur de Venezuela, en los altiplanos Guayaneses cerca de la frontera con Brasil en el cerro Delgado Chalbaud, a una altura de 1042 metros. El Orinoco posee una cuenca hidrográfica que abarca un área de aproximadamente de 990000 km² de los cuales 640000 km² están en territorio venezolano y 350000 km² en territorio colombiano, su longitud es de 2063 km. Sus límites se encuentran demarcados por tres caños: “Río Grande” que se dirige hacia el sur y el sistema de caños “Macareo” y “Mánamo”, que se dirigen hacia el norte. (I.N.C., 1990).

El río presenta a lo largo de su cauce y especialmente en su desembocadura una serie de caños, brazos y quebradas que representan un sistema de aguas superficiales permanente: 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 subafluentes y por su margen izquierdo 99 ríos y unos 230 subafluentes más sin contar innumerables riachuelos, arroyos, caños y quebradas.

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, tomen las características 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. (I.N.C., 1990).

Las aguas del río Orinoco fluctúan regularmente todos los años como consecuencia de la variación estacional de las lluvias en la gran cuenca del río. El ascenso se inicia a fines de marzo o comienzos de abril y continúa normalmente hasta el mes de agosto, con algunos recesos ocasionales. El declinamiento del hidrograma comienza en septiembre y continúa con bastante regularidad hasta marzo. (Bermúdez y Echeverría, 1990).

2.7 Canal de navegación del río Orinoco

El río Orinoco provee a Venezuela de un sistema natural de transporte por vía fluvial admirable, que permite la movilización del comercio local y el transporte de cabotaje exterior. Es navegable por barcos de gran calado hasta Orocopiche en la milla 246. Para alcanzar la desembocadura en el océano Atlántico desde el cauce principal del Orinoco los barcos navegan por el canal sur del delta hasta Boca Grande.

La vía fluvial del río Orinoco desde Puerto Ordaz hasta el mar tiene una longitud alrededor de 195 millas náuticas (361 km) y fue terminado y entro en operación en 1959 (Figura 2.4). Gran parte de la longitud de canal de navegación es naturalmente profunda pero en Boca Grande y en otros tramos relativamente cortos del río, se presenta considerable sedimentación lo que requiere un programa regular de dragado para mantener las profundidades de obra.

El canal del debe ser dragado todos los años, debido a la sistemática sedimentaria, ya que el río rellena anualmente los canales. La sedimentación ocurre normalmente en los períodos de estiaje del río y restablece las condiciones originadas o de equilibrio de la barra. Se ha determinado que la sedimentación en los canales ocurre en primer lugar debido al arrastre de fondo y luego a la sedimentación del material en suspensión. (Tippets, Abbett, McCarthy, Stratton, 1990).

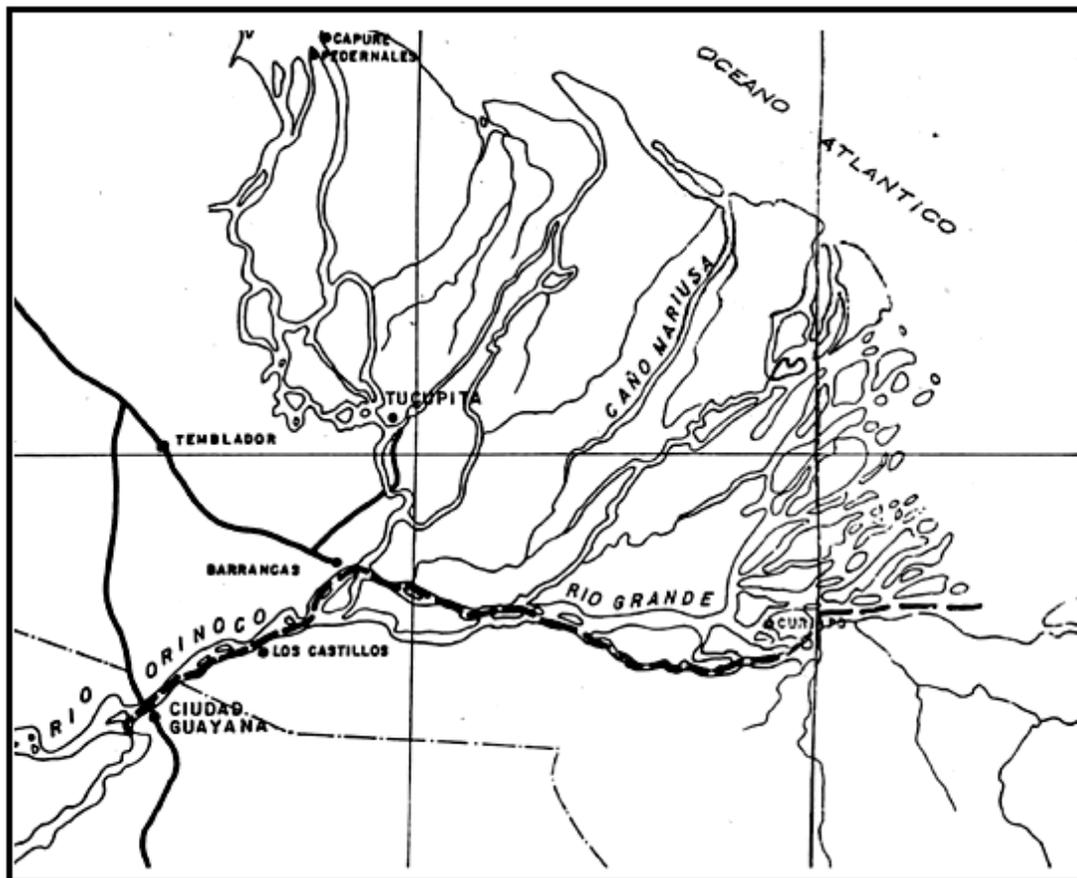


Figura. 2.4 Localización del Canal de Navegación del río Orinoco, Matanzas –Boca Grande. (Ingeniería de Caura, 1990)

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

Bermúdez y Echeverría para 1990 trabajaron en la determinación de la tasa de sedimentación en el canal de navegación del río Orinoco tramo Aramaya – Guasina en el estado Bolívar. Este estudio tiene como finalidad conocer mediante operaciones matemáticas sencillas, análisis e interpretación de mapas de levantamientos hidrográficos y del gráfico comparativo, los niveles medios mensuales de alturas del río y la tasa de sedimentación tanto en épocas de aguas altas como en épocas de aguas bajas. Este trabajo y otros donde se estudiará la erosión y transporte de sedimentos, servirán de marco preliminar para analizar la factibilidad de desarrollar modelos matemáticos de arrastre de sedimentos en el sector estudiado, además la metodología y técnicas empleadas en el informe son un valioso aporte para la investigación que se pretende realizar en el sector Ya-ya, por tratarse de un estudio con propósitos similares.

En 1994 por parte de la empresa Ingeniería Caura S.A. se hace el estudio del impacto ambiental dragado del río Orinoco, en donde se trata de incrementar y mantener las condiciones del canal de navegación del río Orinoco en su tramo Matanzas – Boca Grande de 195 millas (361 km) de longitud, ubicado entre los estados Monagas, Bolívar y Delta Amacuro. La evaluación de los impactos que se presentan en el estudio corresponde a los efectos asociados a la acciones de dragado, disposición del material dragado y a otras actividades tales como: movilización de la draga, mantenimiento del canal, realización de batimetrías. El estudio concluye asignando medidas preventivas, mitigantes o correctivas de los impactos que pueden ocurrir sobre el ambiente a causa del proyecto, dentro de la cuales se tienen

El programa de mejoramiento y actualización de conocimientos de topografía fluvial y dinámica hidrológica, asigna también un plan de mantenimiento de los caños y canales secundarios. Esta investigación metodológicamente significa un aporte provechoso como guía del presente estudio.

Para el año 2003 el Instituto Nacional de Canalizaciones, publica el Derrotero para la navegación en el Canal del río Orinoco tramo Matanza – Boca Grande Puerto Ordaz, estado Bolívar, el cual complementa a los otros previamente publicados. Su propósito fundamental es ofrecer a los navegantes de esta vía fluvial un instrumento más de ayuda a los ya tradicionalmente empleados por los capitanes, oficiales y pilotos en su tránsito por este tramo que se prolonga entre Matanzas y Boca Grande. Para la elaboración del Derrotero se recopiló una serie de datos de interés que se encontraban dispersos en diversos reportes e informes referentes al Canal Orinoco, que servirán como antecedente en cuanto a la metodología y técnicas para el desarrollo de esta investigación.

3.2 Fundamentos teóricos

3.2.1 Canales Abiertos

Un canal abierto es un conducto en el cual el agua fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial. En los canales naturales influyen todos los tipos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras, así como canales de modelos de laboratorio con propósitos experimentales; las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados. Las aplicaciones de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirán, por tanto, resultados bastantes similares a las condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseños. (Chow, V. T., 2004)

3.2.2 Transporte de sedimentos

Según Muñoz, J. (1993) El transporte mecánico efectuado por los ríos presenta diversas modalidades según el calibre de las partículas, aunque la superior densidad del agua introduce algunas diferencias significativas por lo que respecta a la gama granulométrica y a la diversidad de procesos. Los cursos fluviales pueden alcanzar una competencia sustancialmente más alta, por lo que su acción transportadora es capaz de afectar a partículas de todos los tamaños hasta los bloques, no limitándose a las arcillas, limos, arenas y pequeñas gravas como ocurre en la acción eólica.

De otro lado, alguna de las modalidades de transporte mecánico desarrolladas por los ríos, como la conocida como desplazamiento en masa está fuera del alcance del viento y presentan una notable analogía con ciertos tipos de dinámica de vertientes. Concretando la suspensión, la saltación, el rodamiento y el citado desplazamiento en masa son los procesos mediante los que las aguas fluviales desplazan, impulsándolas mecánicamente, las partículas que constituyen su carga.

El transporte en suspensión consiste en el mantenimiento dentro de la corriente de elementos pequeño calibre (arcillas, limos y arenas finas) como consecuencia de la turbulencia del agua: los torbellinos de sentido ascendente que la constituyen contrarrestan eficazmente la tendencia a caer de estos mínimos elementos, de modo que pueden ser impulsadas eficazmente río abajo, acompañado al agua en su flujo y confiriéndolo, si su volumen es importante, tendrá una turbidez más o menos marcada. Mediante este proceso se pueden desplazar grandes cantidades de material a gran distancia, incluso directamente hasta la desembocadura, ya que, debido al escasísimo peso de las partículas, el desplazamiento no se interrumpe a no ser que la turbulencia se reduzca drásticamente como consecuencia de una sustancial disminución de la velocidad de la corriente. Cuando se produce esta disminución, se decanta selectivamente una parte de la carga en suspensión comenzando por la fracción más gruesa de la misma.

La saltación es la acción mecánica mediante la cual las corrientes fluviales realizan el transporte de las partículas de tamaño arena o grava, cuyo peso es suficientemente reducido para ser levantadas del fondo del lecho a impulso del agua, pero resulta excesivo para mantenerse dentro del flujo un intervalo importante, de este modo su desplazamiento se realiza (a saltos) más o menos amplios separados por tiempo muertos en que la partícula se mantiene estable. Se trata, pues, de una modalidad de transporte notablemente menos rápida que la suspensión.

Las partículas de tamaño canto o bloque que se encuentran en el límite de la competencia fluvial son desplazadas, por su parte, mediante el proceso denominado rodamiento, ya que, al no ser capaz de levantarlos del fondo del lecho debido a su mayor peso, la corriente los impulsa sobre el fondo haciéndolos rodar. Este proceso, desarrollado como los dos anteriores elementos, es aún más lento y discontinuo que la saltación y precisa intervalos de tiempo muy largos para transportar cada uno de estos fragmentos hasta la desembocadura del río.

Los tiempos muertos son en este transporte muy mayoritarios, pues estas partículas permanecen quietas sobre el fondo del canal salvo en los cortos intervalos en que la corriente se intensifica, siempre y cuando se hallen adecuadamente dispuestos para recibir su impulso.

Debido al proceso de transporte, el sedimento presente en una determinada sección del canal, en un momento dado, ha experimentado cambios en cuanto a su forma, tamaño y distribución de tamaños; esos cambios se deben principalmente a los fenómenos de abrasión y al de selección hidráulica. (García y Maza, 1998).

La abrasión, es la reducción en tamaño de las partículas de sedimento por acción mecánica, tal como impacto, deslizamiento, frotación (fricción), rotación, salto, suspensión intermitente o continua (dependiendo de la intensidad del flujo).

La selección o clasificación hidráulica, consiste en el agrupamiento, por la acción del flujo, de las partículas de sedimento que responden al flujo en una manera similar; al mismo tiempo, en la separación de aquellas partículas que responden al flujo en una forma diferente.

Según Bermúdez y Echeverría (1990) Debido a la diferencia en los mecanismos generan o mantienen el transporte de sedimentos, la carga total de sedimentos se divide en dos partes: carga de lecho y carga suspendida (Figura 3.1).

Se han estudiado diferentes modelos para predecir estas cargas y como no se ha obtenido una respuesta universal se han investigado modelos de carga total, considerando ambas cargas como un todo.

3.2.2.1 Carga de lecho

Cuando las condiciones críticas para que el proceso de socavación se inicie son sobrepasadas, en el lecho del cauce se produce un movimiento de escalada, salto y escurrimiento de las partículas. Al volumen de sedimento que se mueve de esta forma se le conoce como carga de lecho. El lecho se mueve de forma similar a las dunas de los desiertos, pero con rizaduras de menor escala.

3.2.2.2 Carga suspendida

Una vez que las condiciones críticas de movimiento han sido excedidas, las partículas empiezan a moverse a saltos formados por dunas y rizaduras. Cuando las partículas están rodeadas de fluido se dicen que están suspendidas.

El material en suspensión tiene como límite superior la superficie del agua y un vago límite inferior donde se confunden con la carga de lecho.

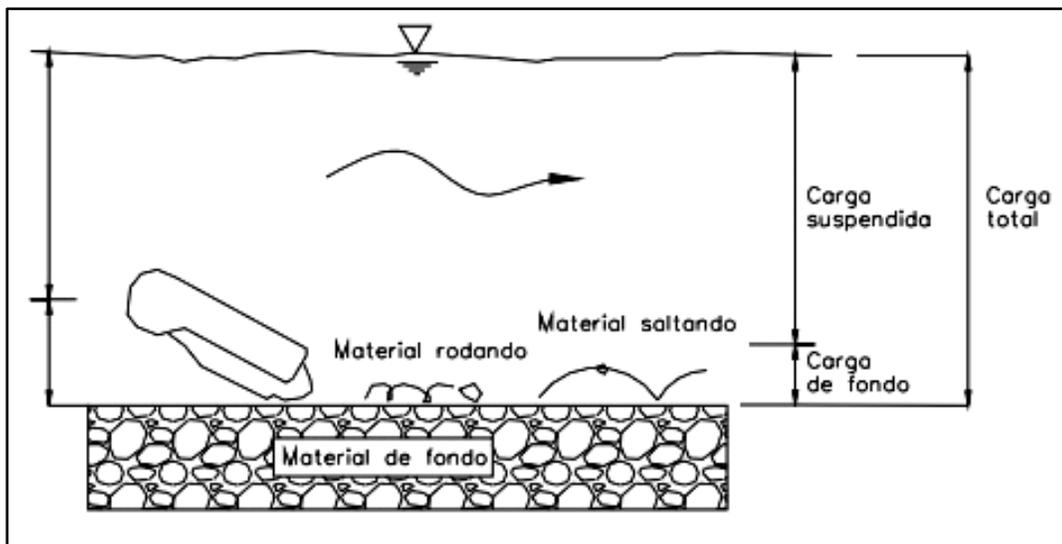


Figura 3.1 Representación esquemática del transporte de sedimentos. (García, S. 2005)

3.2.3 Morfología de los clastos

3.2.3.1 Forma

Esta característica describe el aspecto o apariencia de la partícula, independientemente de su tamaño, densidad o composición mineralógica. La forma es una característica importante, porque influye en el movimiento de las partículas que caen o se desplazan dentro del seno de un fluido. (García y Maza, 1998).

3.2.3.2 Redondez

La redondez es un parámetro que da una idea cuantitativa de que tan chatos o puntiagudos están los filos o aristas que delinear el contorno de la partícula: si una partícula muestra angulosidades, ósea cantos o bordes puntiagudos tendrá un índice bajo de redondez; si por el contrario exhibe aristas romas o filos achatados, tendrá entonces un índice alto de redondez. (Figura 3.2) (García y Maza, 1998)

La redondez, 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 (1970), los índices de redondez se catalogan en los siguientes:

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

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

- ❖ 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.
- ❖ 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 pulidos hasta curvas suaves y amplias.
- ❖ 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.

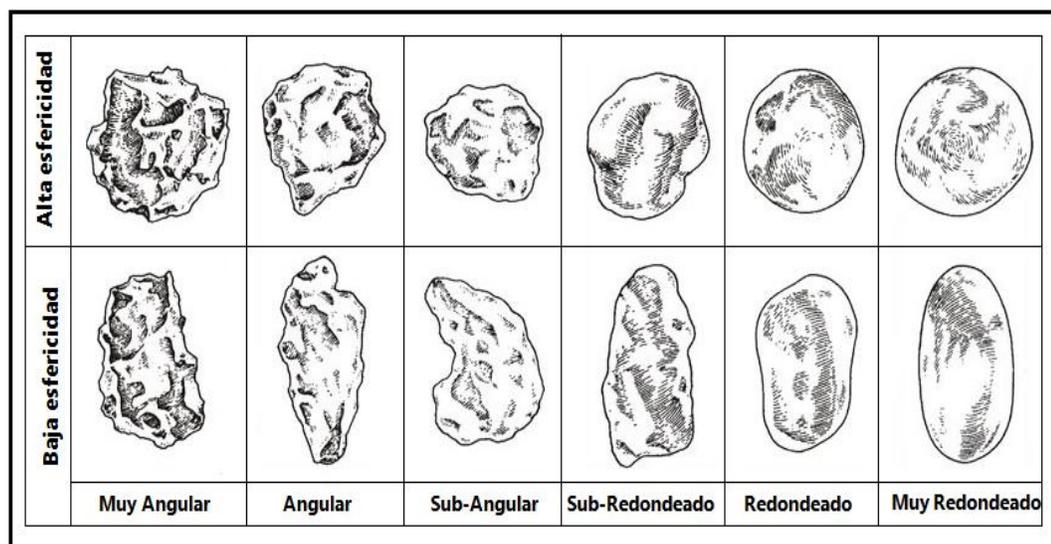


Figura 3.2 Forma y redondez de los granos. (Modificado de Atlas de Petrología Sedimentaria, 2007)

3.2.3.3 Esfericidad

La esfericidad es un parámetro cuantitativo que mide la “lejanía” de un cuerpo a la equidimensionalidad o sea la medida de que tan iguales son las dimensiones axiales de un grano. Para obtener esta medida de manera cualitativa en una lámina delgada en donde se cuente con un marco de comparación ya establecido, podemos determinar una esfericidad alta y baja. (Montijo, A. 2015).

3.2.4 Número de Froude

El efecto de la gravedad sobre el estado del flujo se representa por una relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad. Esta relación es conocida como el número de Froude.

Si el número de Froude es mayor a la unidad ($F > 1$), el flujo se denomina supercrítico. Si el Número de Froude es menor a la unidad ($F < 1$), el flujo se denomina subcrítico. Si el número de Froude es igual a la unidad ($F = 1$), el flujo se denomina crítico. (Chow, V. T., 2004)

3.2.5 Formas del fondo

Las formas del lecho de cauces aluviales se definen como todas las irregularidades más grandes que el tamaño mayor de las partículas que lo conforman y ofrecen una mayor resistencia al flujo que caracteriza estos canales. La forma del cauce depende principalmente del material que compone el lecho, la intensidad de los procesos erosivos y está ligada a la frecuencia de las crecientes.

Según Martin, J. (2003) El fondo de un río con transporte de sedimento, es decir habiendo superado el umbral de movimiento, puede presentar una configuración

No plana, sino ondulada siendo las llamadas formas del fondo, tienen importancia porque participan en el transporte de sedimentos y porque intervienen decisivamente en la resistencia al flujo (rugosidad). Las formas del fondo ocurren con la prioridad en lechos de arenas, mientras que en los ríos de grava y en ríos con material grueso de granulometría extendida parece ser que se presenta limitadamente o no se presenten.

Al comenzar el movimiento en un lecho de arena e ir aumentando la velocidad se presenta en este orden las siguientes formas: rizos, dunas, lecho plano y antidunas. En ocasiones, se añade a la clasificación de formas los llamados rápidos y pozos.

Para Marín, G. (2002) Las arrugas o rizos son pequeñas ondulaciones pueden tener entre 0.1 y 0.5 m de longitud y 0.5 a 5 cm de altura de forma triangular, que en su cara aguas arriba, tiene pendiente muy suave pero el talud aguas abajo es abrupto o pronunciado. La presencia de los rizos pasa desapercibida al nivel de la superficie del agua; en general, la corriente lleva muy poco material del lecho en suspensión. Solo aparecen con arena fina ($< 0,6$ mm) y su presencia indica que el movimiento no es turbulento rugoso en el fondo, o sea, la subcapa límite granular recubre el grano. (Martin, J. 2003)

Las dunas son ondulaciones también triangulares, pero con taludes muy diferentes: el de aguas arriba es muy suave y el de aguas abajo muy marcado. El tamaño de la duna es de un orden de magnitud mayor que el de los rizos, pero además está en una proporción constante con el calado. Cuando las dunas migran hacia aguas abajo: su movimiento es el resultado del avance de los granos sobre la pendiente suave para quedar atrapados en la cresta. El transporte de fondo en lechos de dunas se puede cuantificar a través de su velocidad de avance. (Martin, J. 2003)

Aumentando más la velocidad, las dunas se alargan hasta ser barridas, quedando un lecho plano o de transición con transporte de sedimento. Con una velocidad mayor, el lecho se ondula en formas simétricas llamadas antidunas que puede migrar aguas arriba, pese a verificar un fuerte transporte de sedimentos aguas abajo. (Martin, J. 2003).

Las antidunas forman un tren de ondas simétricas, en fase, de arena y agua, que crecen gradualmente a partir del fondo plano donde hay intenso movimiento de sedimento. Estas ondas pueden llegar a ser inestables y se rompen como una ola marina, o pueden desaparecer gradualmente. En el primer caso se llaman antidunas rompientes o simplemente antidunas, y en el segundo, se conocen como ondas estacionarias. (Marín, G. 2002)

Al mismo tiempo el fondo se transforma rápidamente en una sucesión de pendientes suaves y largas llamadas rápidos, donde el agua se acelera pasando de régimen lento a rápido y contrapendientes fuertes y cortas que encierran unos cuencos o pozos donde tiene lugar el resalto hidráulico, o sea el paso de régimen rápido a lento. La evolución descrita sugiere la idea de que el régimen rápido no ocurre de forma estable y prolongada en los cauces naturales porque el fondo deformable y móvil lleva a la degeneración de la antiduna y a cambios de régimen incesantes.

Según Martin V., J (2003) Las formas de fondo son un fenómeno más complejo de lo que podría deducirse por la explicación anterior. Rizos y dunas se presentan a veces simultáneamente, las primeras superpuestas a las segundas. Lo mismo ocurre con dunas de distintos tamaños. En la realidad nunca son formas bidimensionales, con un solo aspecto, repetido en la tercera dimensión, sino que crean configuraciones tridimensionales. Las formas descritas no parecen tener relación con la dimensión transversal o con la planta del cauce.

3.2.6 Tipos de régimen de flujo

De acuerdo a las formas de fondo que se presenten, el flujo en canales aluviales podrá ocurrir con dos zonas de flujo, modo de transporte de sedimento, proceso de disipación de energía, y relación de fase entre la superficie libre y el fondo del cauce. (Marin, G. 2002).

Los regímenes y las formas de fondo asociadas a ellos son: el régimen inferior del lecho, para números de Froude inferiores a la unidad donde ocurren rizos y dunas, y el régimen superior del lecho, para números de Froude superiores a la unidad donde ocurren lechos planos o antidunas (Figura 3.3) (Niño, Y. 2004).

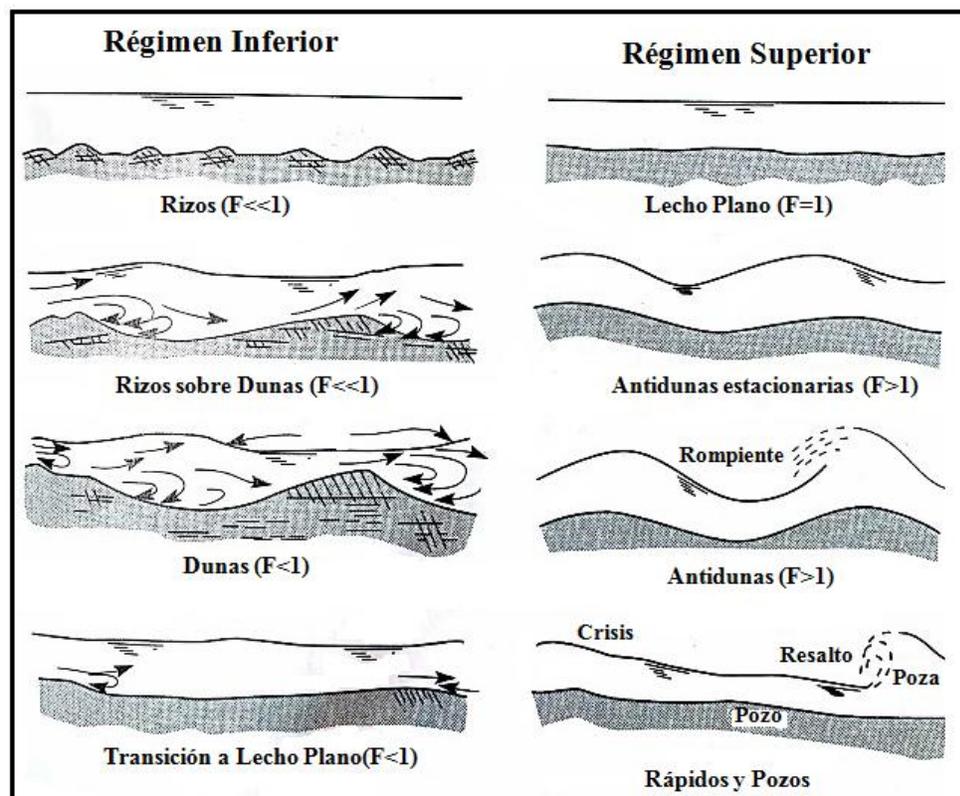


Figura 3.3 Formas del lecho de arena (Modificado de Simons y Richardson 1966, en Yang, C. 1996)

Según Niño, Y. (2004) En cauces aluviales con lechos de grava, es decir con granulometría gruesa y extendida, las ondas sedimentarias del tipo rizos, dunas y antidunas no ocurren. En su lugar se forman una gran variedad de barras que tienen una incidencia importante en la morfología de ese tipo de cauces.

Este tipo de formas de fondo se denominan macroformas por su gran tamaño, que es del orden del ancho del cauce que las contiene. Los rizos que ocurren en lechos arenosos, en cambio, se denominan microformas por su pequeño tamaño, que es del orden del diámetro del sedimento, en tanto que las dunas y antidunas se denominan mesoformas, por su tamaño inferior al de las barras, que es del orden de la altura de escurrimiento.

3.2.7 Modelamiento hidráulico del flujo

Los modelos que permiten estudiar cauces fluviales mediante la aproximación unidimensional y régimen permanente gradualmente variado son lo más extensamente utilizados por su sencillez y amplia difusión. Entre ellos destaca el modelo HEC RAS del Centro de Ingeniería Hidráulica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (Hydraulic Engineering Center of U.S. Army Corps of Engineers – HEC – USACE).

HEC RAS, es modelo ha ido evolucionando con el tiempo y aumentando sus capacidades, de manera que permite representar ríos con cambio de régimen, secciones compuestas irregulares, puentes, pasos bajo vías, uniones. A su vez posee cómodas interfaces gráficas para representar la geometría y ver los resultados, comparando distinta hipótesis de funcionamiento, y realizar informes. Su limitación principal es la de sus hipótesis principales: régimen permanente y unidimensional. (U.S. Army Corps of Engineers U.S.A.C.E, 2018)

3.2.8 Definición de términos básicos

3.2.8.1 Dragado

El dragado es la excavación de material del fondo de un río (en general de un cuerpo de agua). El objetivo de dragar es aumentar la profundidad de agua por ejemplo, para navegación, para mejorar una forma de agua o para aumentar la capacidad hidráulica de un encauzamiento. Debido a que un río transporta sedimento, particularmente como transporte de fondo, el dragado debe considerarse como una medida temporal. Además, si fuera una medida regular o sistemática, no hay que olvidar que produciría un efecto sobre el equilibrio fluvial. (Martin, J., 1997)

3.2.8.2 Sección transversal

Sección transversal de un canal tomada en forma perpendicular a la dirección del flujo. (Chow, V. T., 2004).

3.2.8.3 Caudal

Es el volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m^3/s . (Ordoñez, J., 2011).

3.2.8.4 Afluentes

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

3.2.8.5 Niveles del río

Comúnmente se denomina Nivel del río o altura del río la distancia comprendida entre la superficie del agua y el nivel de aguas bajas. A los efectos de navegación, resulta más práctico expresar esta distancia en pies. (Bermúdez y Echeverría, 1990).

3.2.8.6 Limnímetros

Son aparatos que sirven para medir los niveles o alturas del río. El nivel de un río es la elevación del agua en una estación medida por encima de un cero arbitrario de referencia. (Bermúdez y Echeverría, 1990).

3.2.8.7 Datum Nivel de Aguas Bajas

El datum Nivel de Aguas Bajas (N.A.B) es un nivel de referencia horizontal arbitrario diseñado por el I.N.C con efectos prácticos para los navegantes, sus característica particular es que no es una línea horizontal como la mayoría de los datum, sino que sigue aproximadamente la pendiente hidráulica del río. Este datum N.A.B, intercepta al datum Nivel Medio del Mar precisamente en el sector Ya-ya.

3.3 Bases Legales

3.3.1 Decreto de rango, valor y fuerza de la ley de canalización y mantenimiento de las vías de navegación

El Decreto con rango, valor y fuerza de ley de canalización y mantenimiento de las vías de navegación. Contempla en su capítulo I, II, VI, lo siguiente:

3.3.1.1 Capítulo I. Disposiciones generales

Artículo 6°. A los efectos del presente Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley se entiende por:

- ❖ **Canalización:** las actividades relacionadas con el diagnóstico, estudio, análisis, diseño y ejecución de obras que permitan la transformación de espacios acuáticos restringidos, en vías de navegación seguras.
- ❖ **Mantenimiento:** aquellas acciones de dragado, hidrografía y de preservación de sistemas de señalización, que tienen como finalidad garantizar permanentemente el acceso y navegación segura de dichas vías.
- ❖ **Dragado:** la operación de limpieza de los sedimentos en cursos de agua, lagos, bahías, accesos a puertos para aumentar la profundidad de un canal navegable o de un río para aumentar la capacidad de transporte de agua, evitando así las inundaciones aguas arriba. Con ello se pretende aumentar el calado de estas zonas para facilitar el tráfico marítimo por ellas sin perjuicio para los buques, evitando el riesgo de encallamiento.
- ❖ **Hidrografía:** consisten en el levantamiento del lecho del canal, vía de navegación y áreas cercanas con la finalidad de analizar la condición de profundidad que presentan estos. **Infraestructura hidráulica:** Toda intervención que conlleve al dragado, señalización e hidrografía de los espacios acuáticos. **Accesorios de navegación:** Los equipos flotantes que no tienen propulsión propia.

3.3.1.2 Capítulo II. Órgano rector

Artículo 7. El ministerio del poder popular con competencia en materia de infraestructura y transporte, es el órgano rector en la canalización, administración y mantenimiento de las vías de navegación de la Republica y tiene las siguientes competencias:

1. Formular los proyectos y planes nacionales de canalización y mantenimiento de las vías de navegación conforme a la planificación centralizada.
2. Estudiar, supervisar e incluir dentro de los planes de desarrollo del sector acuático, los proyectos sobre la construcción de canales de navegación, obras e instalaciones que permitan la navegación acuática.
3. Vigilar, fiscalizar y controlar en coordinación con el ministerio del Poder Popular con competencia en materia de defensa, la aplicación de las normas para la seguridad de las vías de navegación.
4. Aprobar el Reglamento Interno del Instituto Nacional de Canalizaciones.
5. Proponer los reglamentos del presente Decreto con rango, valor fuerza de Ley.
6. Requerir del Instituto Nacional de Canalizaciones la Información administrativa y financiera de la respectiva gestión.
7. Coadyuvar en la formación, desarrollo y capacitación del talento humano relacionado con el sector de canalización y mantenimiento de las vías de navegación.

8. Aprobar la compra de acciones o la creación de empresas de derecho privado con personas jurídicas o naturales, nacionales o extranjeras.
9. Las demás establecidas en la ley.

3.3.1.3 Capítulo VI. Mantenimiento y Administración de Canales y Vías de Navegación

Artículo 16. La prestación del servicio de canalización y mantenimiento de las vías de navegación, corresponde:

1. El estudio, inspección, desarrollo, mantenimiento y administración de los canales y vías de navegación por medios propios del Estado o mediante contrataciones; específicamente de aquellas que permitan a buques de gran calado el acceso al lago de Maracaibo y a la vía fluvial del eje Apure-Orinoco, así como todas las obras accesorias necesarias o en alguna forma relacionadas con la construcción, utilización, servicio y mantenimiento de las vías anteriormente señaladas.
2. El mantenimiento y operatividad de los sistemas de señalización de los canales y vías de navegación.
3. Los demás canales y vías de navegación que se le asignen.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Según Arias, F. (1999) La metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los procedimientos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el "cómo" se realizará el estudio para responder al problema planteado.

4.1 Tipo de investigación

El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio. (Arias, F. 2012)

La problemática planteada referida a la “Predicción de las formas del lecho del sector Ya-ya del río Orinoco, estado Delta Amacuro, Venezuela” y en función de sus objetivos se incorpora en un nivel de investigación descriptiva.

Para Tamayo y Tamayo. (1997) La investigación descriptiva comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente.

Para el desarrollo de esta investigación se van a describir texturalmente los sedimentos del lecho del sector Ya-ya y la relación existente entre la morfología del lecho y los patrones de flujo de la corriente, de igual forma se detallarán las variables que están involucradas en el movimiento y mecanismos de transporte de los sedimentos y la formación de las distintas formas del lecho.

4.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. (Arias, F., 2012)

El diseño de esta investigación se orienta hacia la incorporación de un diseño de campo. La investigación de campo según Arias, F. (2012) es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes.

La presente investigación se considera de campo, ya que se realizará un muestreo en el lugar objeto de estudio, posteriormente, se efectuarán los análisis e interpretaciones correspondientes a las muestras recolectadas en campo.

4.3 Población de la investigación

Para Tamayo y Tamayo, M. (1997) La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación.

La población o universo a estudiar, se concibe como el espacio de donde se extraerá la muestra que se va a utilizar en la investigación. En este sentido, Balestrini, M. (2006), expresa que: “una población o universo puede estar referido a cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación”.

En este trabajo de investigación la población está representada por todo el cuerpo de agua y sedimentos que se mueven a través del sector Ya-ya entre las milla náuticas 130 y 140.

4.4 Muestra de la investigación

Según Morlés, V. (1994) La muestra es un "subconjunto representativo de un universo o población".

Galtung, (1971), explica que no todas las muestras resultan útiles para llevar a cabo un trabajo de investigación. Lo que se busca al emplear una muestra es que, observando una porción relativamente reducida de unidades, se obtengan conclusiones semejantes a las que lograríamos si estudiáramos el universo total. En este sentido, una muestra representativa es aquella que por su tamaño y características similares a las del conjunto, permite hacer inferencias o generalizar los resultados al resto de la población con un margen de error conocido.

La muestra representativa de la presente investigación será considerada de igual tamaño que la población por considerarse esta de dimensiones finitas y mensurables.

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Arias, F. (1999), Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información, mientras que los instrumentos son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información.

Las técnicas son particulares y específicas de una disciplina, por lo que sirven de complemento al método científico, el cual posee una aplicabilidad general.

4.5.1 Técnicas de recolección de datos

4.5.1.1 Revisión y análisis documental

Latorre, Rincón y Arnal (2003) definen “la revisión documental como el proceso dinámico que consiste esencialmente en la recogida, clasificación, recuperación y distribución de la información.”

La revisión literaria, permitirá extraer las bases teóricas y los antecedentes del problema de investigación, sirviendo como herramientas documentales que sustenten el trabajo propuesto.

4.5.1.2 Observación directa

Tamayo y Tamayo, M. (2006) define observación directa como: “Aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”.

Mediante la observación directa se realizará un reconocimiento macroscópico del área en estudio para identificar las características físico-naturales de la misma, tales como geomorfología, suelos y vegetación predominante.

4.5.1.3 Consultas académicas

Se acudirá periódicamente a asesorías, con el tutor académico Ing. Dafnis Echeverría, así como también otros especialistas en la materia, con la finalidad de obtener orientaciones para la realización de la investigación dentro de las especificaciones establecidas para el proyecto.

4.5.2 Instrumentos de recolección de datos

Ahora bien, la aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente. A dicho soporte se le denomina instrumento.

Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información. (Arias, F. 2012)

Entre los instrumentos relevantes utilizados para la captación de datos y el desarrollo del estudio se tienen:

1. Equipo de computación.
2. Diario de campo
3. Cámara fotográfica
4. Programas de aplicación: ArcGIS, AutoCAD, AutoCAD Civil, Excel, HEC RAS, Power Point, Word.
5. Equipo de muestreo: muestreador manual prismático integrador, Ecosonda “Hidro Trac”, Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S), pala, bolsas, marcadores, cordeles.
6. Equipo de laboratorio: tamices, tamizadora, balanza, microscopio, horno.

4.6 Flujograma de la metodología de trabajo

La investigación se realizó desarrollando cinco etapas escritas en el organigrama presentado en la Figura 4.1

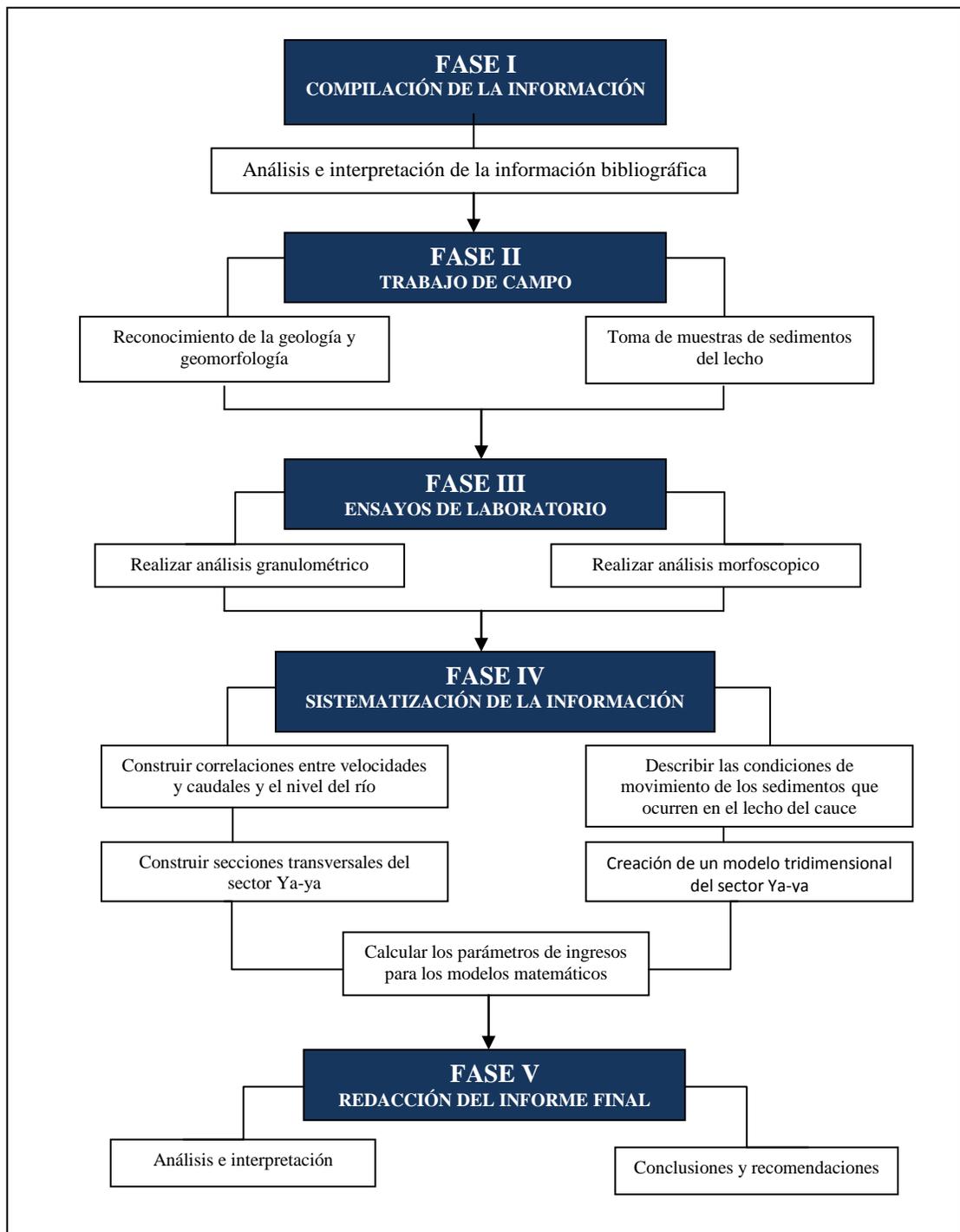


Figura 4.1 Flujograma de investigación

4.7 Metodología empleada para el cumplimiento de los objetivos específicos

4.7.1 Compilación de información

En esta fase se realizó una revisión en forma detallada de toda la información bibliográfica concerniente al área de estudio, considerados como datos preliminares para la elaboración del proyecto, entre ellos tenemos:

Los trabajos de investigación realizados por: a) Bermúdez y Echeverría en 1990 con su trabajo sobre “Determinación de la tasa de sedimentación en el canal de navegación del río Orinoco tramo Aramaya – Guasina en el estado Bolívar.”; b) Consultora Caura en marzo de 1994, titulado “Estudio del impacto ambiental dragado del río Orinoco tramo Matanzas – Boca Grande.”; c) Instituto Nacional de Canalizaciones, en 2003 con “Derrotero para la navegación en el Canal del río Orinoco tramo Matanza – Boca Grande Puerto Ordaz, estado Bolívar.”

Para la realización de los ensayos, se consultaron diversas bibliografías especializadas como: “Manual de laboratorio de suelos de ingeniería Civil” Bowles, J. (1981); “Rocas sedimentarias” Pettijhon, F. (1970)

Información sobre las características geológicas, geomorfológicas, sedimentológicas, climatológicas y bióticas presentes en el sector en estudio, fueron tomado de fuentes bibliográficas: González de Juana et al., Léxico Estratigráfico de Venezuela, respectivamente.

Revisión y elección de planos batimétricos para la elaboración de secciones transversales y creación del modelo tridimensional correspondiente al sector Ya-ya.

Recopilación de datos de aforo, niveles del río Orinoco, mediciones de direcciones y velocidades de corrientes, cartas de navegación del sector Ya-ya que fueron suministrados por el Departamento de Investigación de la Gerencia Canal del Orinoco del I.N.C. Los informes de aforo utilizados corresponden a las campañas efectuadas por el Instituto desde los años 1997 – 2002.

4.7.2 Trabajo de campo

Se efectuó un muestreo de carácter opinático que estará constituido por 5 ejemplares tomados del fondo del cauce de la zona de estudio a lo largo del eje del río. En el Apéndice D se muestran fotografías del sector Ya-ya.

El muestreo se ejecutó con un equipo muestreador manual prismático integrador, apoyados con una lancha hidrográfica perteneciente al I.N.C. esta actividad fue posicionada horizontalmente con la ayuda del G.P.S, y para el posicionamiento vertical se utilizó una Ecosonda “Hidro Trac”, para lograr una mejor precisión al momento de tomar las muestras.

Para la ejecución de la toma de muestras se deja caer libremente el muestreador hasta el fondo del río, luego se hiza el muestreador con las muestras y se depositan en bolsas plásticas resellables las muestras serán debidamente envasadas e identificadas y luego trasladadas hasta el laboratorio de Hidráulica y Mecánica de los fluidos donde se les realizará los diferentes análisis.

4.7.3 Ensayos de laboratorio

Esta etapa consiste en la aplicación de ensayos técnicos de laboratorio a las muestras de sedimentos del cauce tomadas en campo, con el fin de determinar su distribución granulométrica mediante un análisis granulométrico por tamizado y el

Análisis de la forma de las partículas mediante un análisis morfosκόpico, para estos ensayos se realizar previamente el cuarteo de las muestras, dicho proceso se describe a continuación:

4.7.3.1 Cuarteo de muestras

Es uno de los primeros pasos que se práctica a las muestras para poder realizar los diferentes ensayos. La actividad básicamente consiste en dividir a la muestra en partes igualmente representativas, debido a que las proporciones de muestra que se utilizan deben presentar los mismos rasgos y proporciones granulométricas. El procedimiento realizado fue el siguiente:

1. Se coloca la muestra en la bandeja para luego ser secada al horno.
2. Se procede a cuartear la muestra, haciéndola pasar varias veces por una cuarteadora que separa la muestra en dos partes igualmente representativas.

4.7.3.2 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico según Bowles, J. (1981), tiene como principal objetivo: determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo. Una vez conocida la cantidad de material depositado en los diferentes tamices, se procede a realizar el gráfico donde se representa el porcentaje de suelo que pasa por cada tamiz respecto al tamaño del grano, obteniendo curvas que permiten visualizar fácilmente la distribución de los tamaños de granos presentes en el suelo; de esta forma se determinó el tipo de suelo presente mediante el uso del Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos. (S.U.C.S).

El análisis se realiza bajo la norma AASHTO T87-70 (preparación de la muestra), ASTM D421-58 y D422-63. Para el tamizado se emplea una tamizadora

Modelo Rop Tap, con un tiempo de duración de 10 minutos por cada muestra. Para tal efecto se utilizan tamices 4, 10, 40, 60, 80, 100, 200 pulgadas.

A partir de la curva de distribución granulométrica, se pueden obtener diámetros característicos tales como el D_{10} , D_{85} , D_{60} . El D se refiere al tamaño del grano o diámetro aparente de la partícula de suelo y el subíndice (10, 85, 60) denota el porcentaje de material más fino.

Si menos del 12% del material pasa a través del tamiz Nro. 200, es necesario calcular el Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Concavidad (Cc) y mostrarlo en la grafica.

Una indicación de la variación (o rango) del tamaño de los granos presentes en la muestra se obtienen mediante el Coeficiente de Uniformidad (Cu), definido como:

$$Cu = D_{60}/D_{10} \quad (4.1)$$

El Coeficiente de Concavidad (Cc) es una medida de la forma de la curva entre el D_{60} y el D_{10} y se define de la siguiente forma:

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} \times D_{10})} \quad (4.2)$$

4.7.3.3 Análisis morfosκόpico

Tiene como objetivo principal determinar el grado de madurez de los sedimentos basándose en la clasificación de Pettijohn (1970); para estimar el transporte que ha sufrido las partículas.

Este ensayo se realiza de la siguiente manera:

1. Se debe realizar un cuarteo de las muestras, y se toma una porción representativa de 400 gr aproximadamente de cada muestra.
2. Se tamizan las muestras.
3. Se toma la fracción retenida en el tamiz N° 40.
4. Se lava la fracción seleccionada y luego es secada al horno.
5. Cada fracción es observada con la ayuda del microscopio, que de acuerdo al criterio del observador fueron clasificadas en angulosos, sub-angulosos, redondeados, sub-redondeados, según la clasificación de Pettijohn, F. (1970) hasta obtener 200 partículas por cada muestra.
6. Se construye el histograma de forma, con los cuales se determina la madurez del sedimento.

4.7.4 Creación de modelo tridimensional del sector Ya-ya

Con la finalidad de caracterizar geomorfológicamente el lecho del sector Ya-ya, se creó un modelo tridimensional de la zona en estudio, por medio del programa ArcGIS, el cual permite crear una amplia variedad de mapas. Independientemente de cómo se publica, un mapa de ArcGIS es un mapa inteligente que muestra, integra y sintetiza completas capas de información geográfica y descriptiva de diversas fuentes. (ESRI, 2018)

4.7.5 Elaboración de secciones transversales

Haciendo uso del plano batimétrico N° OODB-5432 correspondiente a las fechas 16/08/01 y 17/08/01 de los sondeos realizados entre la millas 134.8-135.5, se construyeron 5 secciones transversales con el programa de modelaje de flujo

Permanente unidimensional HEC RAS (Apéndice B), tomando como referencia profundidades referidas al Nivel de Aguas Bajas.

Las secciones transversales desarrolladas para el levantamiento batimétrico de Agosto de 2001 servirán de forma ilustrativa para mostrar la morfología típica del segmento correspondiente al canal artificial dragado.

Para el cálculo de las cotas, se utilizará como Datum el Nivel Medio del Mar (N.M.M), la corrección al N.M.M para el sector Ya-ya es de - 0,016 metros, es decir que el 0 de la regla limnimétrica está a una cota de - 0,016 metros. (Figura 4.2)

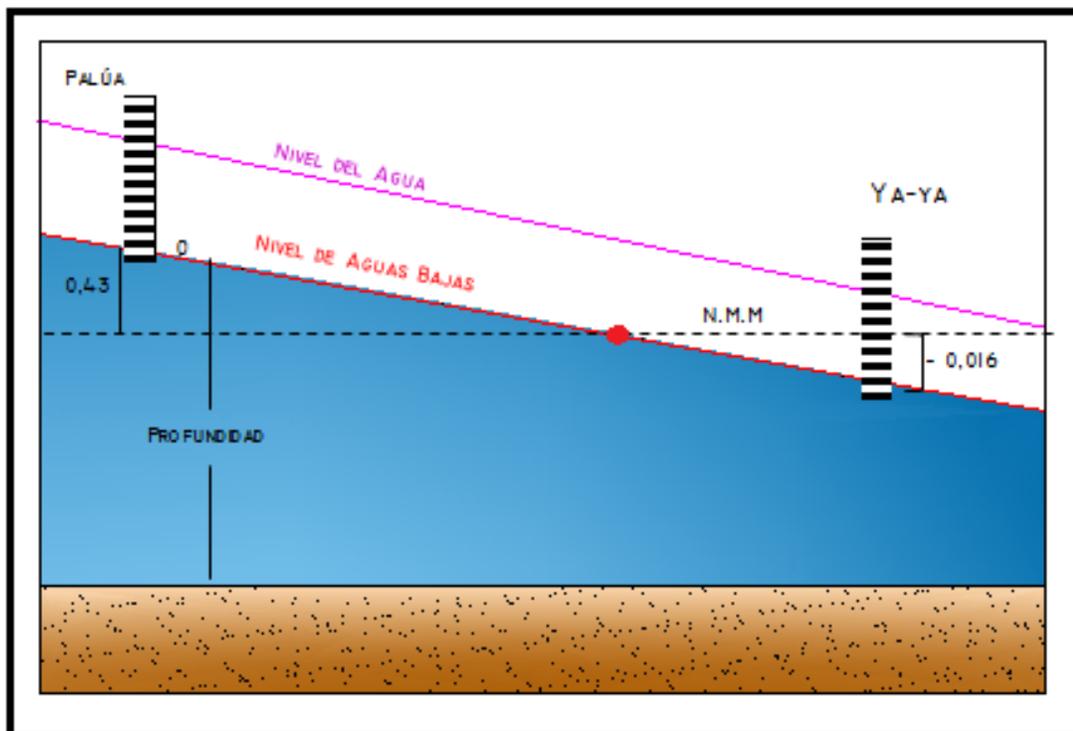


Figura 4.2 Relaciones entre los Datum N.A.B y N.M.M para el sector Ya-ya.

4.7.6 Construir correlaciones entre velocidades, caudales y niveles del río

Con los datos recopilados por el Departamento de Investigación del I.N.C en los informes de aforos referentes a las velocidades, caudales y los niveles del río, se elaboro un gráfico donde se muestra las correlaciones existentes entre los parámetros hidráulicos.

Posteriormente, con el gráfico de correlaciones, se estimara los caudales y niveles presentes en el sector para ser introducidos en el programa HEC-RAS, con el fin de obtener variables hidráulicos y geométricas adicionales del sector Ya-ya, como el número de Froude y potencias de flujos.

4.7.7 Describir las condiciones de movimiento de los sedimentos que ocurren en el lecho del cauce

Como parte del análisis realizado a los sedimentos presentes en el sector, se propuso determinar el momento en el cual estas partículas entran en movimiento, por lo que fue necesario la utilización del gráfico de Hjulström y Van Rijn, Adicionalmente, mediante los principios de Visher, se obtuvieron los mecanismos de transporte de las partículas para entrar en movimiento transporte a los que están sometidos los materiales del sector Ya-ya.

4.7.7.1 Método de Hjulström

El diagrama de Hjulström (1935) da la relación entre el tamaño de sedimentos y la velocidad de flujo promedio por erosión, transportación y sedimentación. La relación de velocidad permisible mostrada en la figura 4.3 está restringida a una profundidad de flujo de al menos 3 pies o 1 metro.

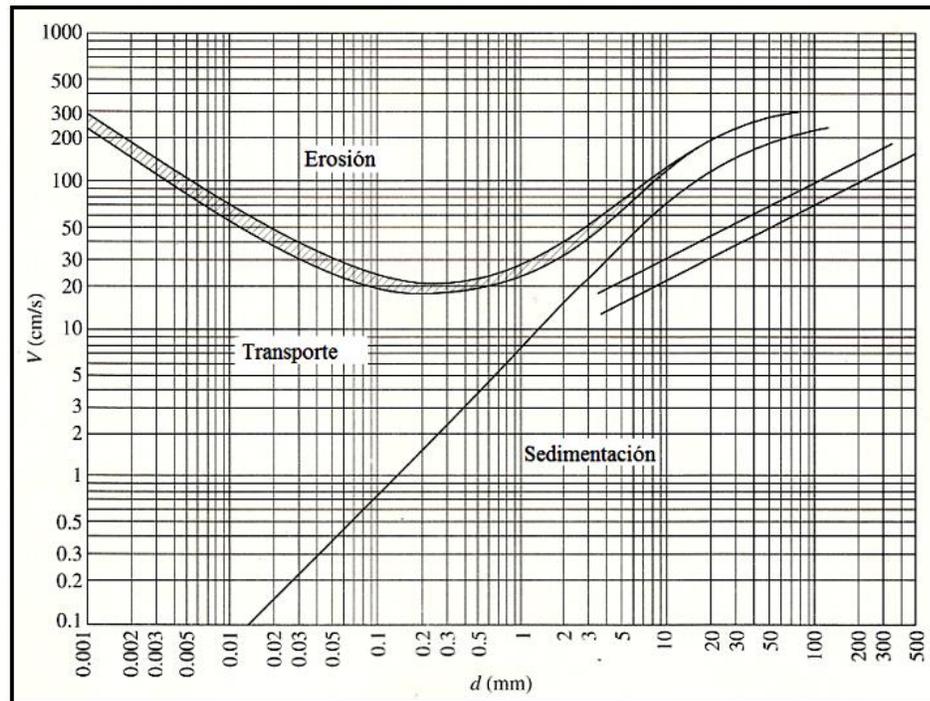


Figura 4.3 Diagrama de Hjulström (1935) (Modificado de Yang, C. 1966)

Para el uso del modelo de Hjulström se deberá ingresar a la gráfica por el eje de las abscisas con el diámetro medio de las partículas (D_{50}) obtenido de las curvas granulométricas, y se prolongará la línea vertical hasta interceptar las curvas limitantes que separan las zonas de sedimentación, transporte y erosión. Desde estas intercepciones se trazan líneas horizontales hasta el eje de las ordenadas para obtener las velocidades requeridas del flujo para mantener en movimiento las partículas o para generar erosión.

4.7.7.2 Método de Van Rijn

Para determinar las condiciones de movimiento incipiente según Van Rijn, se requiere calcular los valores del esfuerzo cortante crítico en el lecho (τ_{cr}), el parámetro crítico de Shields (θ_{cr}), y el parámetro de partículas (D_*), definidos como:

$$\tau_{cr} = \gamma_1 \times h \times I \quad (4.3)$$

Donde:

γ_1 = Peso específico del agua = 1000 Kgf/m³

h = Profundidad promedio del agua

I = Pendiente hidráulica

$$\theta_{cr} = \tau_{cr} / [(\gamma_s - \gamma_1) d_{50}] \quad (4.4)$$

Donde:

τ_{cr} = Esfuerzo cortante crítico en el lecho

γ_1 = Peso específico del agua

γ_s = Peso específico del material del lecho

d_{50} = Diámetro medio de las partículas

$$D_* = \left[\frac{(S-1)g}{(\nu)^2} \right]^{1/3} d_{50} \quad (4.5)$$

Donde:

S = Densidad relativa (γ_s / γ_1)

g = aceleración de la gravedad

d_{50} = Diámetro medio de las partículas

ν = Viscosidad cinemática del agua (25°C) = $8,94 \times 10^{-7}$

Los mencionados parámetros, serán aplicados al diagrama de Shields modificado por Van Rijn (1989) en donde se muestra los valores de movilidad crítica (θ_{cr}), en función del diámetro de partículas dimensionales D_* . La curva delimita áreas

Donde existe un régimen en suspensión y otra región en donde las partículas se encuentran en reposo, es decir, sin movimiento. (Figura 4.4)

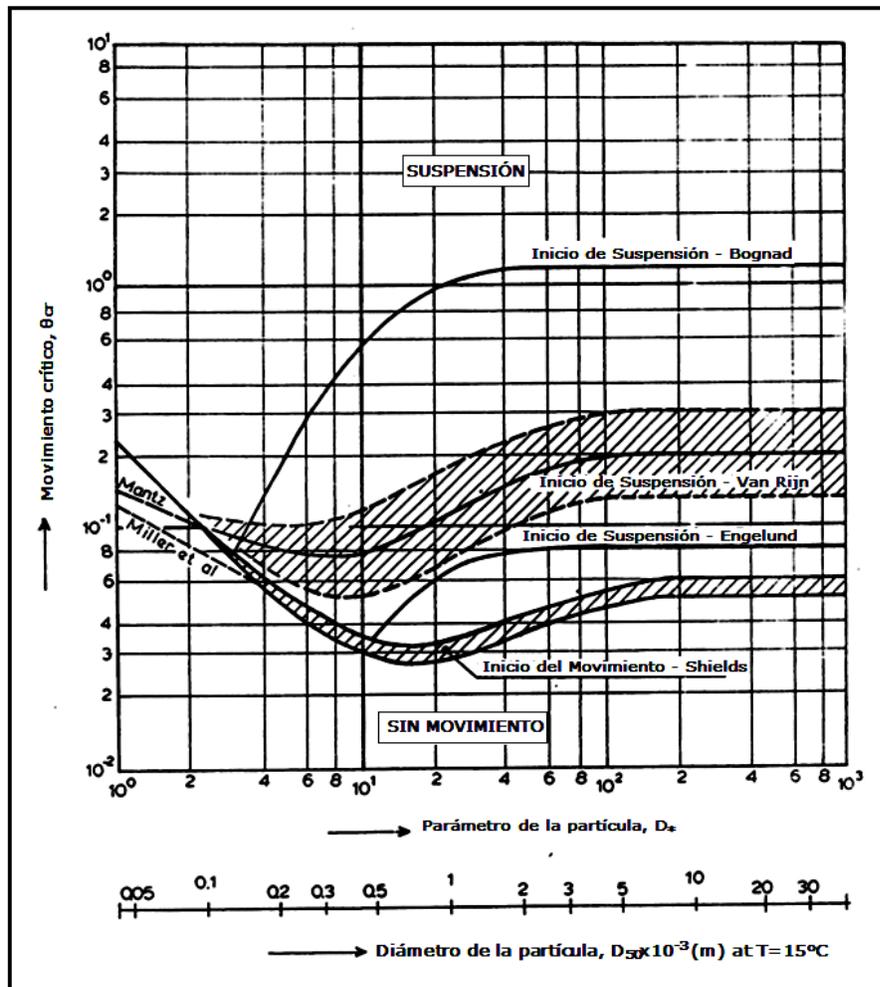


Figura 4.4 Diagrama de Shields.(Modificado de Van Rijn, 1989)

4.7.7.3 Método de Visher

Este método determina el mecanismo de transporte de los sedimentos en ambientes de tipo arenoso, utilizando los datos de los análisis granulométricos de las partículas se construirán curvas relacionando el porcentaje retenido acumulado versus el diámetro de los tamices utilizados, trazando líneas tangentes a la curva se obtiene

Determinar los puntos de truncamiento que dividen a las sub-poblaciones de tracción, saltación y suspensión, clasificándolas de acuerdo al diámetro de las partículas según el criterio de Visher.

4.7.8 Calcular los parámetros de ingresos para los modelos matemáticos

La predicción de las formas del lecho, se logra a partir de la definición de los parámetros hidráulicos y sedimentológicos, para los cuales aparece determinado tipo de relieve sobre el lecho granular de un río aluvial.

4.7.8.1 Modelo de Simons – Richardson

Simons y Richardson (1966) desarrollaron un predictor de forma de lecho como se muestra en la figura 4.5, basado en los extensos datos de un canal de laboratorio de Colorado State University y datos de varios ríos y canales. Las formas de lecho se dan en términos del diámetro medio de caída de la partícula del material (D_{50}) en el rango del tamaño de la arena y la potencia de la corriente, que se define como el producto del esfuerzo cortante del lecho y la velocidad media del flujo ($\tau_0 V$).

La potencia del flujo, es la tasa de gasto de energía por unidad de área de lecho, a la cual las formas de lecho parecen estar estrechamente correlacionadas. A valores bajos de ($\tau_0 V$) se presenta un lecho plano, el cual permanece mientras el material no se encuentre en movimiento. Los rizos y las dunas comienzan a formarse después del inicio del movimiento, para tamaños de arena menores de 0.6 mm aproximadamente. La relación gráfica en la figura 4.5 solo es aplicable para lecho de arena. (Chang, H., 1988)

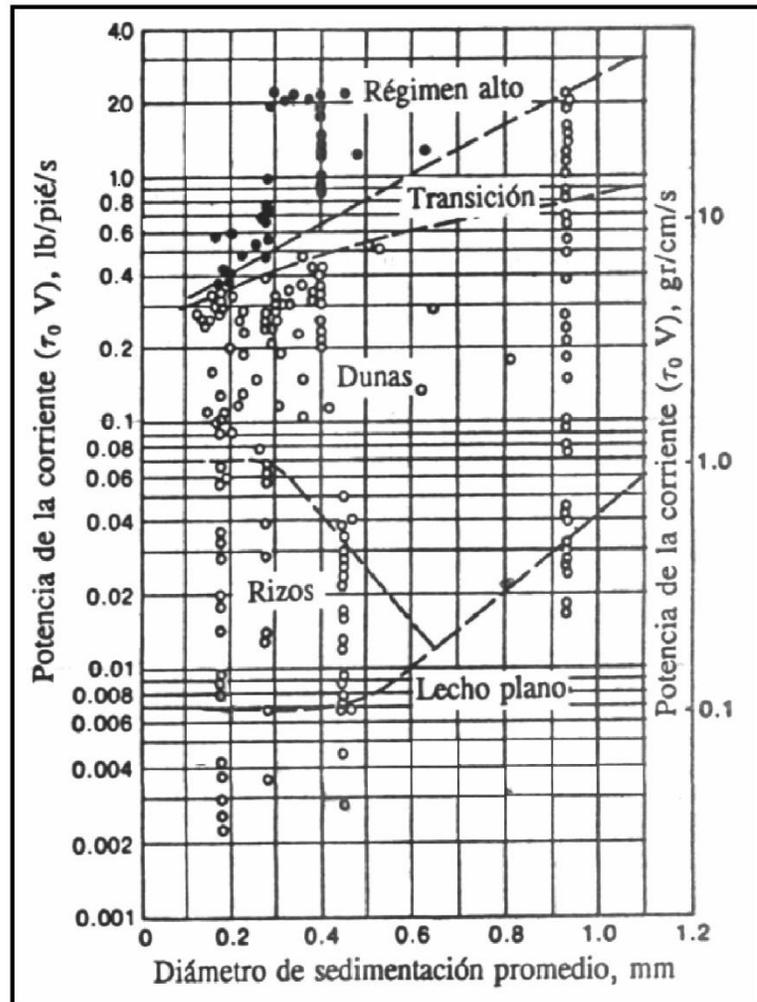


Figura 4.5 Formas del lecho según Simons y Richardson (1966) (Guevara, M. 2003).

4.7.8.2 Modelo de Engelund – Hansen

Engelund y Hansen (1966) estudiaron la estabilidad de las formas de lecho en canales de laboratorio y trazaron los resultados que se muestran en la figura 4.6 para determinadas condiciones hidráulicas. Para aplicar el citado modelo matemático, es necesario conocer valores del número de Froude (Fr) en función de la relación entre la velocidad media del flujo y la velocidad de corte (V/U_*) para determinar las formas de lecho.

En ese sentido, la velocidad se corte está definida por:

$$U_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (4.6)$$

Donde:

τ_0 = Esfuerzo cortante del lecho

ρ = Densidad del agua

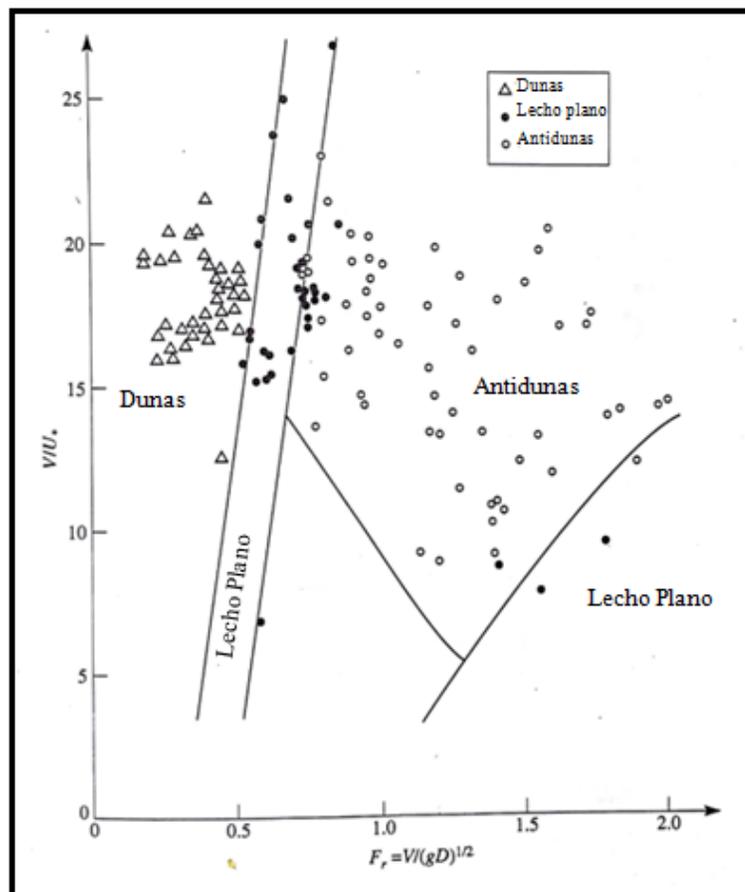


Figura 4.6 Clasificación de la forma de lecho basada en el análisis de estabilidad de datos de laboratorio (Modificado de Yang, C. 1966)

4.7.9 Redacción del informe final

El propósito es combinar palabras, frases, párrafos y textos, y a través de ellos unir ideas ya elaboradas, de manera que se produzcan en un todo armonioso, capaz de ser debidamente comprendido.

4.7.9.1 Conclusiones y recomendaciones

En esta sección se presentan sin argumentación y en forma resumida los resultados de la investigación, derivado del tratamiento, análisis e interpretación de los datos realizados en este estudio. Esto implica algunas recomendaciones pertinentes en el caso y se comprueba al final que se han logrado cumplir con los objetivos trazados.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Caracterización textural de los materiales del lecho del cauce del sector Ya-ya del río Orinoco

Los puntos de muestreo fueron posicionados con GPS (coordenadas UTM, huso 19, Datum Reveng, elipsoide GRS-80) (Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Coordenadas de ubicación de los puntos de muestreo en el sector Ya-ya

Sector	Coordenadas UTM		Nombre de la muestra
	Norte	Este	
Ya-ya	960600.70	601739.32	M1
	960440.34	602202.23	M2
	960158.23	602617.03	M3
	959984.33	602927.55	M4
	959804.64	603421.36	M5

5.1.1 Análisis granulométrico

Con los resultados adquiridos de los ensayos granulométricos aplicados a las muestras recolectadas en campo, se logró determinar que todos los ejemplares corresponden a sedimentos de arenas, con dichos análisis además, se obtuvieron las curvas de distribución granulométrica con sus respectivos coeficientes de uniformidad y concavidad mostrados en el Apéndice A.

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos de los resultados expuestos en el Apéndice A, se evidencia que el tipo de suelo predominante son arenas gravosas mal graduadas con pocos finos o ninguno y corresponde un suelo tipo “SP”

5.1.2 Análisis morfoscopico

Se efectuó el análisis de forma de las partículas a dos de las cinco muestras tomadas en campo, considerando como medida estadística la primera muestra tomada aguas arriba y la segunda aguas abajo del curso del cauce.

Como resultado de los análisis, se obtuvo que prevalecen los sedimentos sub – redondeados y sub – angulosos (Tabla 5.2), teniendo un rango 42,5% y 46,5% de partículas sub – redondeadas y 35% y 36% de sedimentos sub – angulosos, representados en las muestras M1 y M5 respectivamente. (Figuras 5.1 y 5.2)

Dichas formas predominantes permiten inferir que los sedimentos han sufrido significativa fricción en su superficie, mostrando como resultado la pérdida de aristas producto presumiblemente por un transporte friccionante desde su fuente de origen, aunque no lo suficientemente intenso para generar formas redondeadas. Dado el contenido cuarzoso predominante de los suelos, se presume que la fuente de los sedimentos se encuentra distante.

Tabla 5.2 Resultados de los análisis morfoscópico de las partículas

Grado de Redondez								
Muestra	Angulosas		Sub-Angulosas		Sub-Redondeadas		Redondeadas	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
M1	5	2,5	70	35	85	42,5	40	20
M5	5	2,5	72	36	93	46,5	30	15

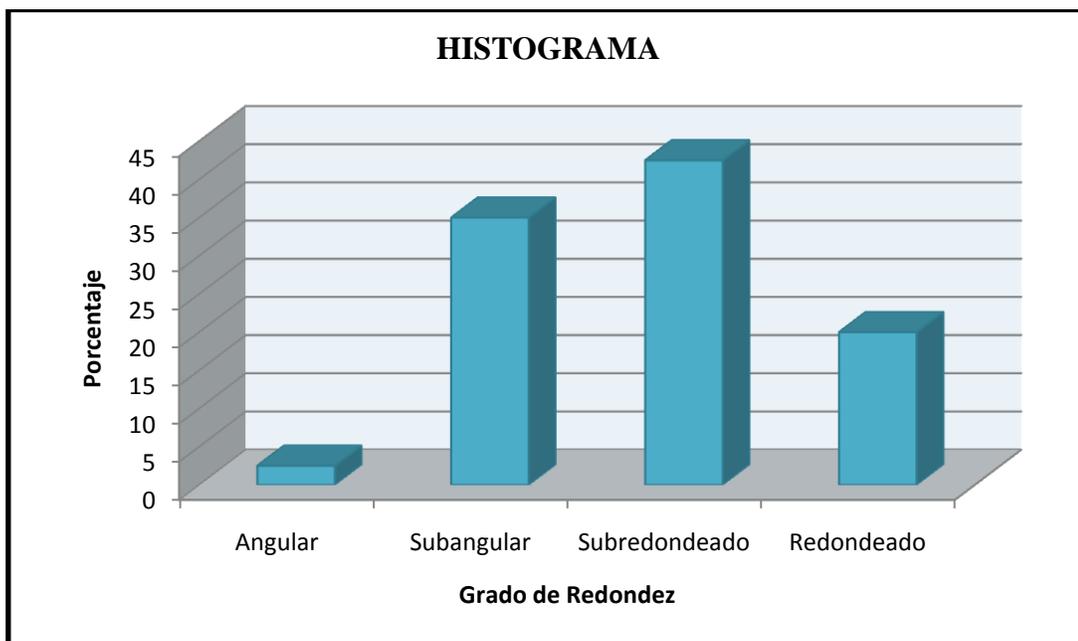


Figura 5.1 Histograma de frecuencia del análisis morfoscopico. Muestra M1.

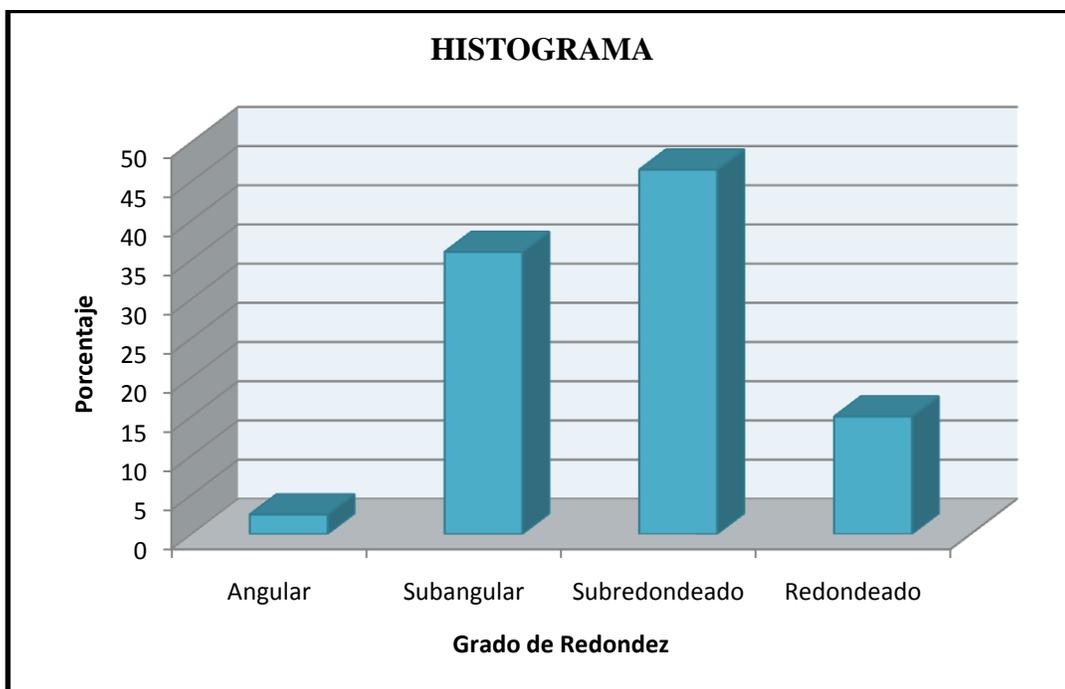


Figura 5.2 Histograma de frecuencia del análisis morfoscopico. Muestra M5.

5.2 Determinación de las relaciones entre la morfología del lecho del cauce y los patrones de flujo de la corriente fluvial

Dentro de los rasgos fisiográficos observados del sector Ya-ya en el modelo tridimensional (Figura 5.3), resalta un canal alineado en dirección de la corriente del río, en el cual se observa hacia el centro del mismo se demarcan las zonas de mayor profundidad del sector. Aguas arriba, el canal tienden a estrecharse, producto de la depositación del material dragado con anterioridad. Aguas Abajo, se encuentra el canal natural del sector, por lo que se evidencia un ensanchamiento del cauce.

El canal puede experimentar modificaciones al evolucionar con el tiempo y según la condición de flujo, puesto que en épocas de aguas altas el río profundiza su vaguada en el canal artificial, las zonas de descarga de material y el canal natural.

La irregularidad del fondo del río Orinoco en el sector Ya-ya observable en el modelo tridimensional del lecho, promueve algún efecto de retardo en las velocidades, sin embargo casi imperceptibles, debido a la gran masa de agua que se desplaza cada segundo.

La morfología del lecho en el caso específico del canal artificial dragado se presenta a través de las secciones transversales (Apéndice B).

Comenzando aguas arriba del cauce, en las secciones 05 y 04 (Figuras B.1 y B.2) muestran que el proceso de socavación se desarrolla en la ribera izquierda, mientras que la depositación del material se incrementa hacia el sur del sector. Situación contraria ocurre en la sección 01, en donde se visualiza que el río tiene tendencia a erosionar en la margen derecha y el material acumulado se incrementa hacia el norte del área.

Para las secciones 03 y 02 la acumulación lateral de material disminuye en comparación a lo observado en las secciones anteriores, el depósito de material se acentúa en la zona central del cauce.

Las zonas de mayor profundidad observadas tanto en el modelo tridimensional como en las secciones transversales corresponden a las zonas preferenciales de flujo de agua y de los sedimentos.

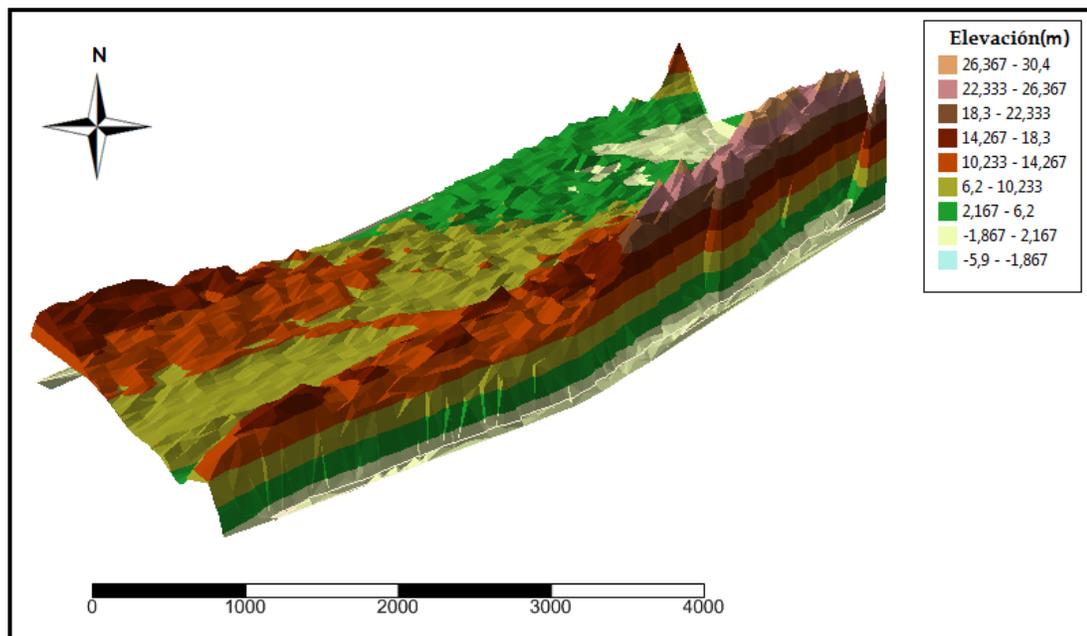


Figura 5.3 Modelo Tridimensional del sector Ya-ya

5.3 Caracterización hidráulica el sector Ya-ya con base a los registros de aforo y niveles del río medidos y registrados por I.N.C

Para el análisis del movimiento de los sedimentos se deberá en primer término caracterizar los flujos que se producen en el sector Ya-ya. En ese sentido, una revisión de los registros históricos de aforos medidos en la sección Playa del Medio del sector Ya-ya registrados por el Instituto Nacional de Canalizaciones (Tabla 5.3)

Permiten efectuar una correlación entre el nivel de la superficie del agua versus el caudal y entre el nivel de la superficie del agua versus la velocidad de la corriente. (Figura 5.4)

Tabla 5.3 Datos de aforo del sector Ya-ya, sección Playa del Medio. (I.N.C. 2002)

Fecha	Hora	Sección	Caudal (m³/s)	Velocidad Media (m/s)	Nivel (m)
07/09/2001	11:55	Playa del Medio	25.657,98	0,85	6,1
01/07/2001	10:35	Playa del Medio	17.502,69	0,63	4,3
25/03/2001	14:11	Playa del Medio	9.359,16	0,44	0,5
18/12/2000	20:40	Playa del Medio	14.580,47	0,6	2,44
11/09/2000	08:36	Playa del Medio	32.553,00	1	6,98
17/06/2000	13:50	Playa del Medio	26.501,80	0,9	5,93
30/03/2000	08:15	Playa del Medio	6.082,91	0,28	0,82
11/12/1999	12:00	Playa del Medio	15.181,33	0,59	2,64
31/08/1999	15:10	Playa del Medio	42.844,63	1,25	7,74
26/04/1999	10:55	Playa del Medio	14.589,67	0,58	2,75
26/04/1999	13:35	Playa del Medio	15.195,70	0,59	2,7
10/12/1998	14:30	Playa del Medio	17.720,45	0,68	2,95
05/04/1998	12:50	Playa del Medio	4.598,73	0,23	0,32
05/04/1998	17:15	Playa del Medio	3.388,63	0,17	0,32
09/06/1997	07:12	Playa del Medio	26.625,08	0,98	3,92

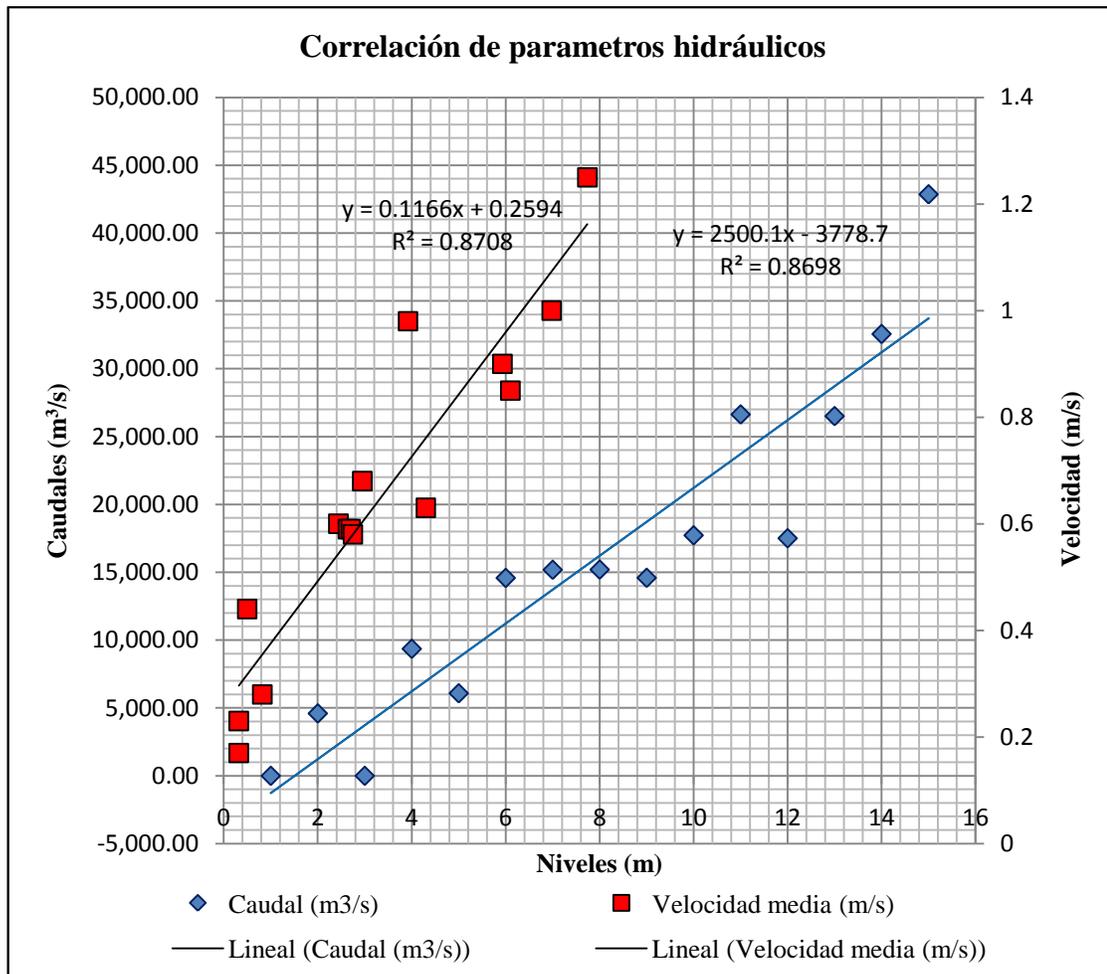


Figura 5.4 Correlación de los parámetros hidráulicos del sector Ya-ya.

En la correlación efectuada se observa que los parámetros son directamente proporcionales. Para niveles entre 0,32 y 6,98 metros se presentan variaciones de caudales que oscilan entre 3.388,63 m³/s y 32.553,00 m³/s y velocidades de la corriente entre 0,17 y 1 m/s respectivamente.

Con base a la correlación anterior para un nivel del río de 5,75 metros se estima un caudal de 10.000 m³/s aproximadamente, datos necesarios para 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 Ya-ya

Tramo	Sección	Q total (m ³ /s)	Cota (m)	Vel. media (m/s)	Área total (m ²)	Ancho (m)	N° Froude	Potencia del flujo (N/m/s)
Ya-Ya	5	10000	-4.69	1.43	7219.24	1588.23	0.20	3.68
Ya-Ya	4	10000	-4.69	1.26	8301.68	1501.28	0.16	2.36
Ya-Ya	3	10000	-4.70	1.15	9263.33	1639.79	0.14	1.69
Ya-Ya	2	10000	-4.76	1.32	7363.75	1722.36	0.20	3.68
Ya-Ya	1	10000	-4.89	1.87	5431.26	1575.44	0.31	9.96

5.4 Descripción las condiciones de movimiento de los sedimentos que ocurren en el lecho del cauce con base a los criterios de Hjulström, Van Rijn y Visher.

5.4.1 Método de Hjulström

Obtenido el diámetro efectivo de las partículas en las distintas muestras extraídas del lecho, se tomo como valor aproximado 0,30 mm, permitiendo estimar valores de velocidades de corrientes para mantener el movimiento de las partículas entre 2,30 cm/s y 20 cm/s. (Figura 5.5).

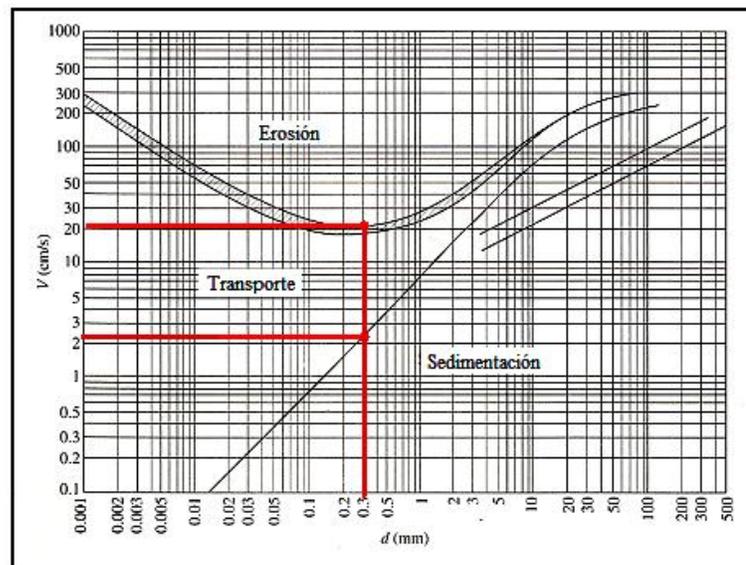


Figura 5.5 Diagrama de Hjulström aplicado

La Tabla 5.5 refleja los valores de las velocidades límites para producir la erosión o sedimentación de los materiales del lecho según el criterio de Hjulström.

Tabla 5.5 Velocidades límites para que se produzcan los estados de movimiento de los sedimentos

Muestra	Velocidades (cm/s)		
	Para Sedimentación	Para Transporte	Para Erosión
M1	$\leq 2,33$	$2,33 \leq x \leq 21$	≥ 21
M2	$\leq 2,60$	$2,60 \leq x \leq 22$	≥ 22
M3	$\leq 2,30$	$2,30 \leq x \leq 22$	≥ 22
M4	$\leq 2,20$	$2,20 \leq x \leq 22$	≥ 22
M5	$\leq 2,25$	$2,25 \leq x \leq 22$	≥ 22

5.4.2 Método de Van Rijn

Evaluando las variables de Van Rijn, para las condiciones presentadas en el sector Ya-ya, se tiene que:

Para el esfuerzo cortante crítico en el lecho:

$$\tau_{cr} = \gamma_1 \times h \times I$$

Donde:

h = Profundidad promedio del agua = 9,416 m

I = Pendiente hidráulica = 0,00016 m

Se obtiene que $\tau_{cr} = 1,506 \text{ Kgf/m}^2$

Para el parámetro crítico de Shields:

$$\theta_{cr} = \tau_{cr} / [(\gamma_s - \gamma_1)d_{50}]$$

Donde:

τ_{cr} = esfuerzo cortante crítico en el lecho = 1,506 Kgf/m²

γ_1 = Peso específico del agua = 1000 kgf/m³

γ_s = Peso específico del material del lecho = 2650 kgf/m³

d_{50} = Diámetro medio de las partículas = 0,00030 m

Se obtiene que $\theta_{cr} = 3,042$

Finalmente, para el parámetro de partículas:

$$D_* = \left[\frac{(S-1)g}{(\nu)^2} \right]^{1/3} d_{50}$$

Donde:

S = Densidad relativa (γ_s / γ_1) = 2,65

g = aceleración de la gravedad = 9,81 m/s²

d_{50} = Diámetro medio de las partículas = 0,00030 m

ν = Viscosidad cinemática del agua (25°C) = 8,94.10⁻⁷ m²/s

Se tiene que $D_* = 8,177$

En la Figura 5.6, se puede observar que al graficar el valor del parámetro crítico de Shields (3,042), 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.

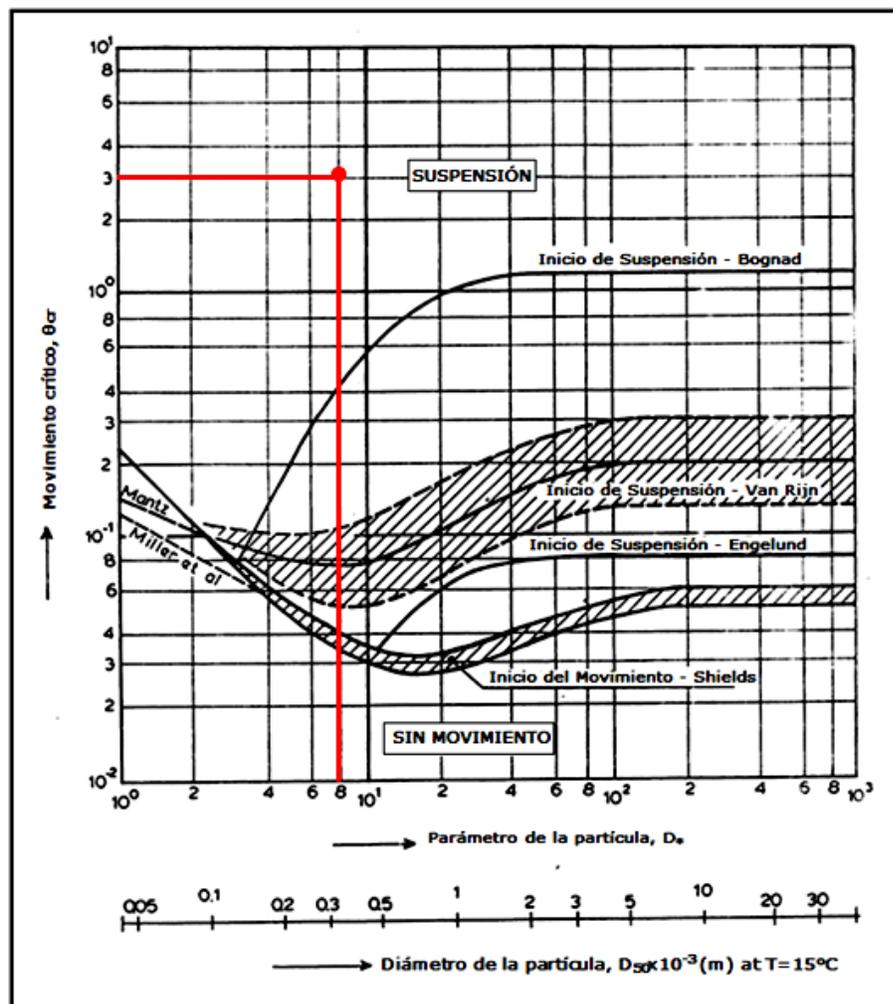


Figura 5.6 Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho (Van Rijn, 1989).

5.4.1 Método de Visher

Una vez construidas las curvas de frecuencia acumulada y trazadas las tangentes a las curvas, se determinaron las fracciones de los sedimentos de acuerdo al tipo de mecanismo de transporte de las partículas (tracción, saltación y suspensión). Se puede observar en la Tabla 5.6 las distintas fracciones de los sedimentos según la modalidad de movimiento mediante el cual se transportan.

Tabla 5.6 Fracción porcentual que se moviliza según mecanismo de Visher

Muestra	Rango Diametros (mm)					
	Fracción por tracción	%	Fracción por saltación	%	Fracción por suspensión	%
M1	4,80 - 0,36	9	0,36 - 0,22	81	0,22 - 0,16	10
M2	4,80 - 0,95	10	0,95 - 0,23	88	0,23 - 0,16	2
M3	4,80 - 0,38	13	0,38 - 0,23	83	0,23 - 0,16	4
M4	4,80 - 0,37	4	0,37 - 0,22	88	0,22 - 0,16	8
M5	4,80 - 0,36	8	0,36 - 0,22	84	0,22 - 0,16	8

Por consiguiente, tenemos que el mecanismo de transporte predominante de los materiales en el sector Ya-ya es el de saltación, presentando un valor mínimo de 81% en la muestra M1, así como un máximo valor depositado de 88% para las muestras M2 y M4.

5.5 Predecir las formas del lecho que se producirán en el sector Ya-ya de acuerdo a los modelos matemáticos de Simons- Richardson, Engelund – Hansen.

5.5.1 Modelo de Simons y Richardson

Aplicando el modelo de predicción para los valores de potencia del flujo, obtenidos mediante el programa de modelamiento HEC RAS, en un rango que oscila entre 9,96 N/m/s (7,35 lbf/pie/s) y 1,69 N/m/s (1,25 lbf/pie/s), en función de diámetro efectivo de las muestras extraídas igual a 0,30 mm, se determino que:

Para valores de potencia del flujo iguales o superiores a 1,25 lbf/pie/s los sedimentos tenderán a disponerse en forma de antidunas, este tipo de mesoforma presentan una fuerte ondulación en consonancia con el fondo, lo que indica que el régimen hidráulico de la corriente donde se encuentran es rápido o también llamado régimen superior, caracterizado por una baja resistencia hidráulica y donde las partículas tiene preponderancia de la carga de fondo. (Figura 5.7)

No se logra establecer una predicción del relieve para un valor de potencia de flujo igual a 7,35 lbf/pie/s, debido a que este se encuentra fuera del rango de los valores establecidos en el eje de las ordenadas del modelo matemático.

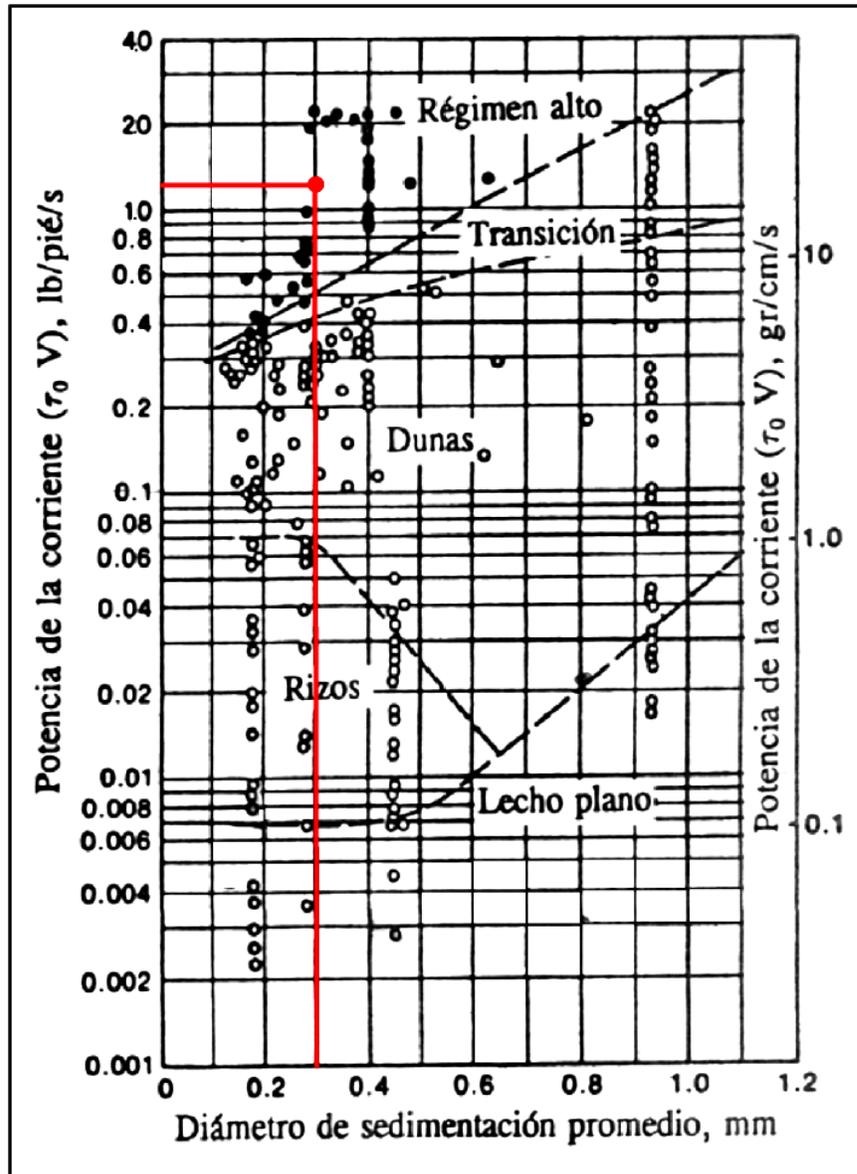


Figura 5.7 Modelo de Simons y Richardson aplicado

5.5.2 Modelo de Engelund y Hansen

El análisis de configuraciones de forma de Engelund y Hansen se realizó para un rango de valores del número de Froude en el sector Ya-ya entre 0,14 y 0,31 calculados a través del programa HEC RAS, en función de valores de la relación de la velocidad media y la velocidad de corte (V/U_*) iguales a 15,58 y 9,58.

En la Figura 5.8 se da a conocer que, para valores de V/U_* de 15,58 y 9,58 los sedimentos tienen predisposición a depositarse en forma de dunas, en este tipo de relieve la superficie libre se ondula suavemente en oposición al fondo (descenso sobre la cresta y ascenso sobre el valle).

La presencia de las dunas indica que el régimen hidráulico donde se presentan es lento o bien llamado un régimen inferior, en donde la resistencia hidráulica es relativamente alta y adquiere mayor importancia el transporte de sedimentos en suspensión.

Ochoa, T. (2011) explica que las dunas se pueden formar en cualquier tipo de río, independientemente del tamaño de los sedimentos del lecho, si la potencia de la corriente es suficiente para producir el movimiento general de los materiales depositados sin que el número de Froude sea superior a uno.

En determinadas condiciones de flujo, la forma de fondo en un lecho de arena puede variar entre dunas y un fondo plano o antidunas, lo cual se debe a variaciones de la resistencia hidrodinámica y la correspondiente variación de la profundidad y pendiente, con cambios en la forma del cauce.

La resistencia hidráulica disminuye al incrementar la profundidad: por lo que se puede suponer, las configuraciones de forma de tipo antidunas en el sector Ya-ya se

Darán hacia profundidades del cauce menores en comparación con las profundidades donde se presenten los relieves de tipo dunas.

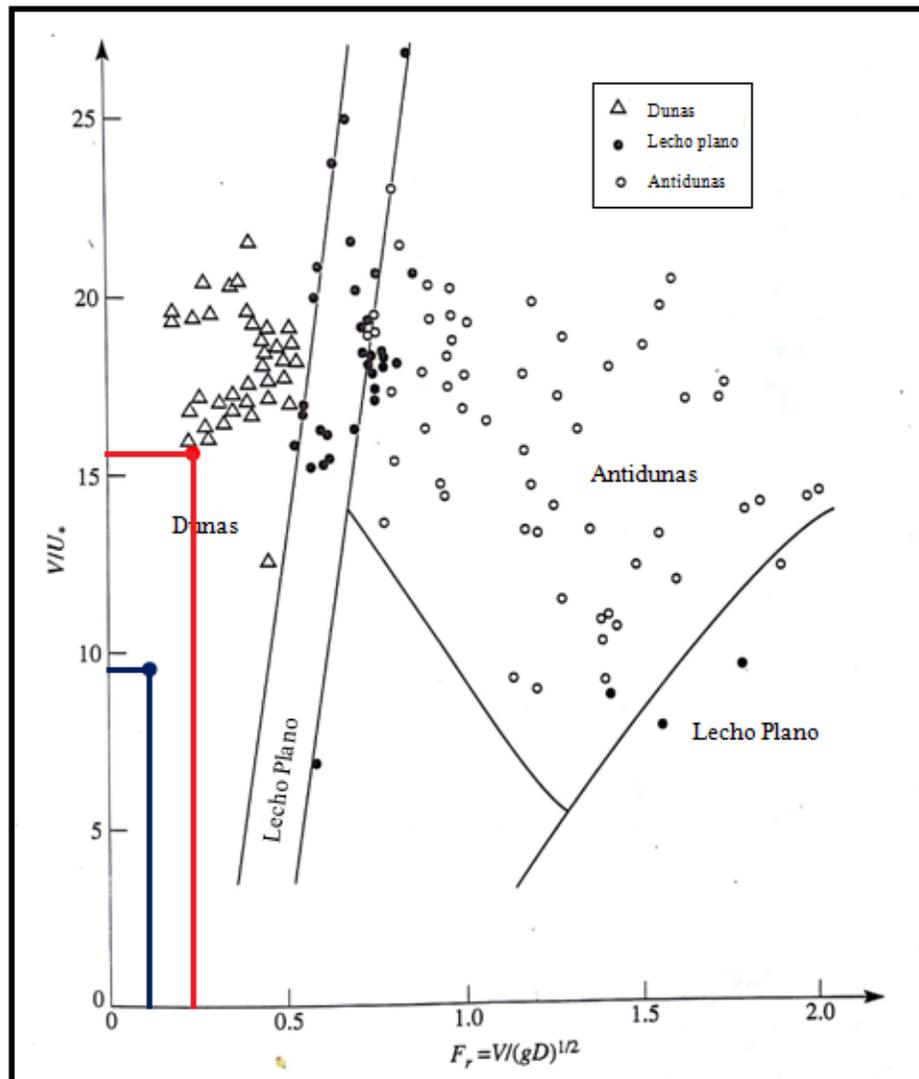


Figura 5.8 Modelo de Engelund y Hansen aplicado

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

Conclusiones

1. La distribución del tamaño de los sedimentos en base a la descripción granulométrica en el sector Ya-ya refleja una mezcla de arena media con pocos finos o ninguno, tomando como referencia la Clasificación Unificada de los Suelos, ésta se considera del tipo SP, es decir, de características pobremente gradadas. En cuanto al análisis de forma realizados a las muestras extraídas, predominan las partículas sub-redondeadas y sub-angulosas por lo que se presume las partículas sufrieron transporte friccionante significativo desde su fuente de origen, dada la naturaleza cuarzosa de los materiales.
2. Considerando el diámetro medio de las partículas de 0,30 mm, se estimó mediante el modelo de Hjulström que los materiales del cauce presentes en el sector Ya-ya del río Orinoco, ameritaban velocidades de flujo del agua entre 2.30 cm/s y 20 cm/s para garantizar su transporte. Conforme al criterio de Van Rijn sobre la iniciación del movimiento para las condiciones evaluadas, señala que las partículas pueden permanecer en condiciones de suspensión. El modelo de Visher indico que la modalidad predominante para transporte de los sedimentos es la de saltación y en proporción mínima las de suspensión y de tracción: tal circunstancia se adjunta a que los materiales son arenas mal gradadas.

3. Hidráulicamente, en relación a los niveles, caudales y velocidades de las corrientes del río registrados en el sector Ya-ya, se determinó que existe relación proporcional entre ellos: un aumento en el nivel de la superficie del agua, significará un incremento del gasto líquido, intensificando simultáneamente la velocidad de la corriente, en caso contrario, disminuirían a razones proporcionales. Adicionalmente, el sector Ya-ya muestra números de Froude menores a la unidad y valores para la potencia de la corriente que oscilan entre 9,96 N/m/s y 1,69 N/m/s.
4. Geomorfológicamente, dentro del sector Ya-ya destacan zonas de mayor profundidad hacia el centro del canal, mientras que para las áreas marginales se intensifica la acumulación de sedimentos, para la margen izquierda agua arriba del cauce presumiblemente se deba a la depositación del material dragado anteriormente. Aguas abajo se identifica el canal natural del sector, en donde se produce un ensanchamiento del cauce. Dichas zonas demarcadas de mayor profundidad en el sector, establecen las zonas preferenciales de flujo de los sedimentos y de la corriente
5. De acuerdo a las condiciones analizadas, siguiendo los principios de Simons y Richardson para la predicción de formas, se concluye que el lecho del sector Ya-ya presenta mesoformas de tipo antidunas, su presencia indica un régimen superior y una baja resistencia hidráulica. Conjuntamente, para las variables evaluadas bajo los criterios de Engelund y Hansen revelan que los materiales del lecho del sector Ya-ya corresponden a relieves de tipo dunas, las cuales señalan un régimen inferior que traduce una resistencia hidráulica considerable.

Recomendaciones

1. Considerando las mayores profundidades observadas en el sector y los presumibles patrones preferenciales de flujo, se recomienda a los ente gubernamentales encargados en la administración del canal de navegación, promover el uso de modelos físicos de fondo móvil para estudiar los flujos sedimentos en el río y la ubicación de nuevas áreas de descarga, tomando en cuenta una serie de consideraciones, entre ellas podemos mencionar: profundidades óptimas, dirección de la corriente, canal de acceso seguro para las dragas.
2. Realizar procesos de monitoreo ambiental para conocer y disminuir el efecto que sobre la vida vegetal y animal pueden traer los cambios introducidos en el proceso de dragado.

REFERENCIAS

Atlas de Petrología Sedimentaria (2007) **PETROLOGIA SEDIMENTARIA**. Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Madrid, España. 7 Junio 2018 [<https://webs.ucm.es/info/petrosed/index.html>]

Arias, F. (2012) **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA**. Sexta edición, Editorial Episteme C.A, Caracas, Venezuela, pp 35 – 70.

Balestrini, M. (2006) **COMO SE ELABORA UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Séptima Edición. Editorial BL Consultores Asociados, Caracas, Venezuela, pp 150.

Bermúdez, G. y Echeverría, D. (1990) **DETERMINACIÓN DE LA TASA DE SEDIMENTACIÓN EN EL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO TRAMO ARAMAYA – GUASINA EDO. BOLÍVAR**. Ministerio de transporte y comunicaciones, Instituto Nacional de Canalizaciones, Gerencia Canal del Orinoco, División control de producción, Departamento de dragado, Puerto Ordaz, Venezuela, P 108.

Bowles, J. (1981) **MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS DE INGENIERÍA CIVIL**. Segunda Edición. Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana S.A. Bogotá, Colombia, pp 11 – 69.

Chang, H. (1992) **FLUVIAL PROCESSES IN RIVER ENGINEERING**. Segunda Edición. Editorial Krieger. Florida, Estados Unidos de América, pp 40 – 60.

Chow, V. T. (2004) **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS**. Editorial Nomos S. A., Santafé de Bogotá, Colombia, pp 14 – 19.

Corporación Venezolana de Guayana Técnica Minera C.A., (1989). **INFORME DE AVANCE NC 20 – 14 Y NC 20 – 15, CLIMA, GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, SUELOS Y VEGETACIÓN**. Ciudad Bolívar, Venezuela, Tomo I, II, III, pp 185 – 203, 441 – 444, 453 – 461.

Corporación Venezolana de Guayana, (1977). **ESTUDIO GEOTECNOLÓGICO DE CIUDAD GUAYANA Y ALREDEDORES**. Puerto Ordaz, Venezuela, Tomo I, pp 17, 33-34.

Decreto N° 6.220, con Rango, Valor y Fuerza de Ley de Canalización y Mantenimiento de las Vías de Navegación. Extraordinario de la **GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA N° 5.891**, 31 de julio de 2008.

Echeverría, D., Malpica, F., Jimenez, L. (2003) **EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVA EN EL CANAL INTERIOR DEL RÍO ORINOCO, UBICADA EN LOS SECTORES ARAMAYA, GUARGUAPO, YA-YA Y GUASINA. ESTADOS MONAGAS Y DELTA AMACURO. VENEZUELA**, Ministerio de Infraestructura, Instituto Nacional de Canalizaciones, Gerencia Canal Del Orinoco. Puerto Ordaz, Venezuela, P 234.

ESRI (2018) **ABOUT ARCGIS**. New York, Estado Unidos de América. 1 Junio 2018 [<https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>]

Galtung, J. (1971). **TEORÍA Y MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN SOCIAL**. Tercera Edición, Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, Tomo I, pp 49 – 75.

García, M. y Maza J. (1998) **MANUAL DE INGENIERÍA DE RIOS: ORIGEN Y PROPIEDAD DE LOS SEDIMENTOS**. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, Ciudad de México, México, P 118.

García, S. (2005) **ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE LA REMOCIÓN HIDRÁULICA DE SEDIMENTOS EN UN EMBALSE**. Trabajo de maestría, Universidad Nacional Autónoma De México, división de estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Ciudad de México, México, pp 14.

Geosoluciones, (2016) **SOLUCIONES INTEGRALES EN GEOMÁTICA E INGENIERA GEOESPACIAL**. Santiago de Chile, Chile, 2 Febrero 2018. [<http://www.geosoluciones.cl/surfer/>]

Guevara, M. (2003). **MORFOLOGÍA FLUVIAL**. Universidad del Cauca, Curso de obras de control fluvial, Popayán, Cauca, Colombia. pp 35.

González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J., Picard, X. (1980) **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Edición FONINVES, Caracas, Venezuela, Tomo I y II, pp 14 – 18.

Hjulström, F. (1935). **THE MORPHOLOGICAL ACTIVITY OF RIVERS AS ILLUSTRATED BY RIVERS FYRIS**. Boletín del Instituto Geológico y Minero, Madrid, España, vol. 25, cap. 3.

Ingeniería Caura, C.A (1994) **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL DRAGADO DE MANTENIMIENTO DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO**. Caracas, Venezuela, pp 105 – 128.

Instituto Nacional de Canalizaciones (1990). **EL RÍO ORINOCO Y EL CANAL DE NAVEGACIÓN**. Puerto Ordaz, Venezuela, pp 18.

Instituto Nacional de Canalizaciones (1997) **INFORME DE AVANCE DE DRAGADO DE MANTENIMIENTO DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO**. Puerto Ordaz, Venezuela, pp 15 – 16.

Instituto Nacional de Canalizaciones (2002) **DERROTERO PARA LA NAVEGACIÓN EN EL RÍO ORINOCO TRAMO BOCA GRANDE – MATANZAS**. Puerto Ordaz, Venezuela, P 90.

Latorre, A., Del Rincón, D., Arnal, J. (2003). **BASES METODOLÓGICAS DE LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA**. Editorial Ediciones Experiencia. Barcelona, España, P 58.

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

Marín, G. (2002) **HIDRÁULICA FLUVIAL. CONCEPTOS GENERALES SOBRE MORFOLOGÍA, DINÁMICA Y EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN RÍOS ALUVIALES. ECUACIONES Y MÉTODOS DE USO MÁS EXTENDIDO PARA SU EVALUACIÓN Y CÁLCULO**. Escuela Colombiana de Ingeniería. Centro de Estudios Hidráulicos y Ambientales, Bogotá, Colombia, 30 de Marzo 2018, [http://transportesedimentos.tripod.com/esp/1_9.htm]

Martin, J. (1997) **INGENIERIA FLUVIAL**. Ediciones UPC, Barcelona, España, pp 149.

Martin, J. (2003) **INGENIERÍA DE RÍOS**. Editorial Alfaomega Grupo Editor, S.A., Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España, pp 64 – 68.

Montijo, A. (2015) **PETROLOGÍA DE ROCAS DETRÍTICAS: ELEMENTOS TEXTURALES**. Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Hermosillo, México, 1 Marzo 2018, [<http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/amontijo/detriticas/elementos.htm>]

Morlés, V. (1994) **PLANEAMIENTO Y ANÁLISIS DE INVESTIGACIONES**. Eldorado Ediciones, Caracas, Venezuela, pp 54.

Muñoz, J. (1993) **GEOMORFOLOGÍA GENERAL**. Editorial SINTESIS, España, pp 217 – 219.

Niño, Y. (2004) **HIDRÁULICA FLUVIAL Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS: TRANSPORTE HIDRÁULICO DE SÓLIDOS**. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago de Chile, Chile, pp 20 – 23.

Ochoa R., T. (2011) **HIDRÁULICA DE RÍOS Y PROCESOS MORFOLÓGICOS**. Primera Edición. Editorial Ecoe Ediciones, Bogotá Colombia. P 706

Ordoñez, J. (2011) **CARTILLA TÉCNICA: ¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?** Foro peruano para el agua, Sociedad Geográfica de Lima. Lima, Perú, 30 de Enero de 2018, [http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf]

Pettijohn, F. J. (1970) **ROCAS SEDIMENTARIAS**. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. P 702.

Sánchez, G. (2017) **KÖPPEN ORINOCO DELTA**. Caracas, Venezuela, 7 Junio 2018
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:K%C3%B6ppen_Orinoco_Delta.png]

Tamayo y Tamayo, M. (2004) **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Cuarta edición. Editorial Limusa. México, pp 24.

Tippets, Abbett, McCarthy, Stratton. (1970) **TRANSPORTE DE MINERAL DE HIERRO PUERTO ORDAZ AL MAR**. Caracas, Venezuela. P 182.

U.S. Army Corps of Engineers (2018) **HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER**, Washington, Estados Unidos de América, 2 Febrero 2018, [www.hec.usace.army.mil.]

Van Rijn, L. (1989). **PRINCIPLES OF SEDIMENT TRANSPORT IN RIVER, ESTUARIES AND COASTAL SEAS**. Universidad de Utrecht, Domplein, Paises Bajos, pp 4.1-4.33.

Visher, G. (1969) **GRAIN SIZE DISTRIBUTIONS AND DEPOSITIONAL PROCESSES**. Universidad de Tulsa, Tulsa, Estados Unidos de América, Volumen 3, pp 1074 – 1106.

Yang, C. (1996) **SEDIMENT TRANSPORT. THEORY AND PRACTICE**. Editorial Mcgraw-Hill, New York, Estados Unidos de América, pp 19 – 89.

APÉNDICES

APÉNDICE A
RESULTADOS DE ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS POR EL MÉTODO DE
TAMIZADO

Tabla A.1 Análisis granulométrico para la muestra M1

Universidad de Oriente Escuela Ciencias de la Tierra Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de los fluidos										
ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO										
Ubicación:		Sector Ya-Ya		Coordenadas			Fecha:	Abril 2018		
Nombre de la Muestra:		M1		Norte:	960600.70	Este:		602202.23		
Nº de Tamiz	Diámetro de tamiz (mm)	Peso de tamiz (gr.)	Tamiz + suelo (gr.)	Suelo Retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Resultados		
4	4,75	747,2	755,9	8,70	1,74	1,74	98,26	D₁₀ =	0,2	mm
10	2,00	643,2	649,8	6,60	1,32	3,06	96,94	D₃₀ =	0,27	mm
40	0,42	566,2	594,7	28,50	5,71	8,77	91,23	D₅₀ =	0,29	mm
60	0,25	512	856,7	344,70	69,04	77,81	22,19	D₆₀ =	0,30	mm
80	0,18	515	618,7	103,70	20,77	98,58	1,42	Cu =	1,5	-
100	0,15	395,6	399,9	4,30	0,86	99,44	0,56	Cc =	1,2	-
200	0,08	482,3	484,7	2,40	0,48	99,92	0,08			
PAN	0,00	483,6	484	0,40	0,08	100,00	0,00			
		Peso final		499,30	100,00					
		Peso total o inicial		500,00						
		% ERROR		0,00						

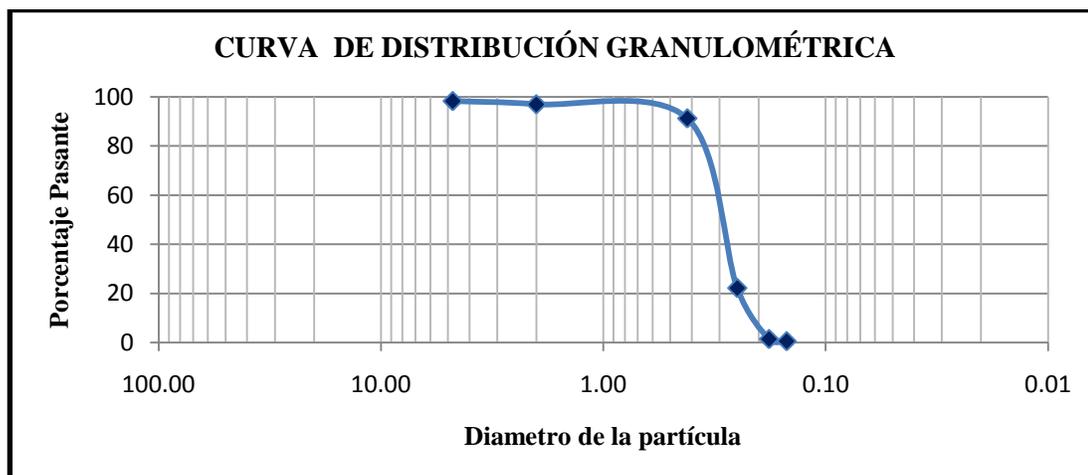


Figura A.1 Curva de distribución granulométrica. Muestra M1.

Tabla A.2 Análisis granulométrico. Muestra M2

Universidad de Oriente Escuela Ciencias de la Tierra Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de los fluidos										
ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO										
Ubicación:		Sector Ya-Ya		Coordenadas				Fecha:	Abril 2018	
Nombre de la Muestra:		M2		Norte:	960440.34	Este:	602202.23			
Nº de Tamiz	Diámetro de tamiz (mm)	Peso de tamiz (gr.)	Tamiz + suelo (gr.)	Suelo Retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Resultados		
4	4,75	747,2	757,1	9,90	1,99	1,99	98,01	D₁₀ =	0,26	mm
10	2,00	643,2	650,2	7,00	1,41	3,39	96,61	D₃₀ =	0,29	mm
40	0,42	566,2	697,6	131,40	26,40	29,79	70,21	D₅₀ =	0,33	mm
60	0,25	512	831,5	319,50	64,18	93,97	6,03	D₆₀ =	0,38	mm
80	0,18	515	543,1	28,10	5,64	99,62	0,38	Cu =	1,5	-
100	0,15	395,6	396,4	0,80	0,16	99,78	0,22	Cc =	0,9	-
200	0,08	482,3	483,2	0,90	0,18	99,96	0,04			
PAN	0,00	483,6	483,8	0,20	0,04	100,00	0,00			
		Peso final		497,80	100,00					
		Peso Inicial o total		500,00						
		% ERROR		0,44						

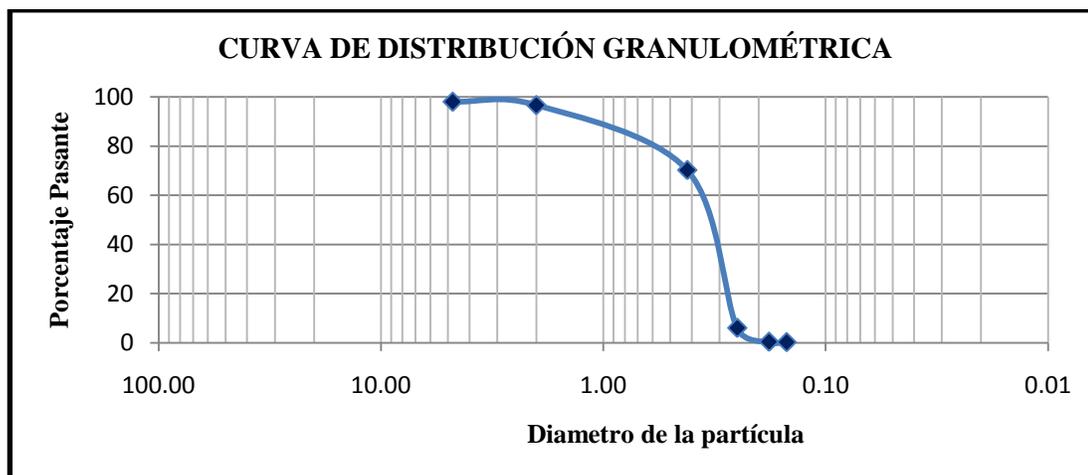


Figura A.2 Curva de distribución granulométrica. Muestra M2.

Tabla A.3 Análisis granulométrico. Muestra M3

Universidad de Oriente Escuela Ciencias de la Tierra Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de los fluidos										
ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO										
Ubicación:		Sector Ya-Ya		Coordenadas				Fecha:		Abril 2018
Nombre de la Muestra:		M3		Norte:	960158.23	Este:	602617.03			
Nº de Tamiz	Diámetro de tamiz (mm)	Peso de tamiz (gr.)	Tamiz + suelo (gr.)	Suelo Retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Resultados		
4	4,75	747,2	753,4	6,20	1,33	1,33	98,67	D₁₀ =	0,25	mm
10	2,00	643,2	652,2	9,00	1,94	3,27	96,73	D₃₀ =	0,28	mm
40	0,42	566,2	622,7	56,50	12,15	15,42	84,58	D₅₀ =	0,30	mm
60	0,25	512	865,2	353,20	75,94	91,36	8,64	D₆₀ =	0,32	mm
80	0,18	515	552,2	37,20	8,00	99,35	0,65	Cu =	1,3	-
100	0,15	395,6	397,4	1,80	0,39	99,74	0,26	Cc =	1,0	-
200	0,08	482,3	483,3	1,00	0,22	99,96	0,04			
PAN	0,00	483,6	483,8	0,20	0,04	100,00	0,00			
		Peso final		465,10	100,00					
		Peso total o inicial		470,00						
		% ERROR		1,04						

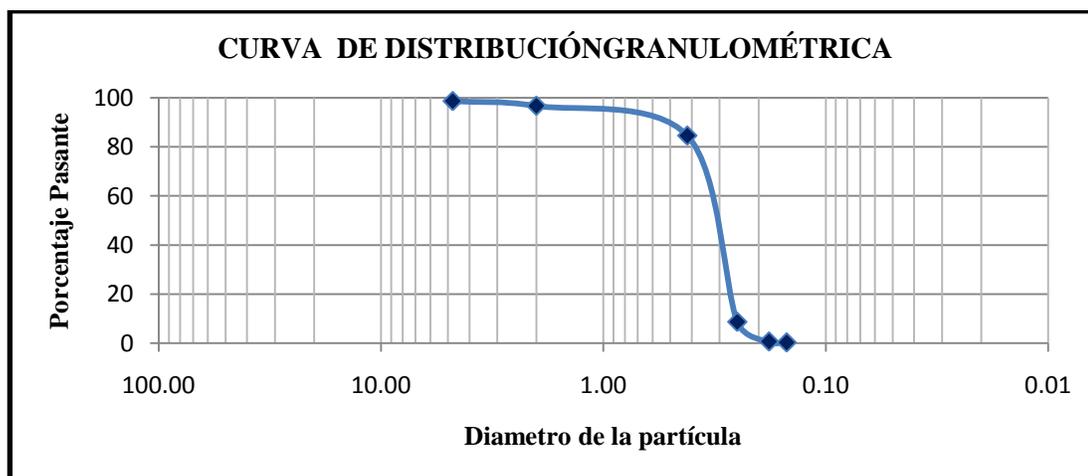


Figura A.3 Curva de distribución granulométrica. Muestra M3.

Tabla A.4 Análisis granulométrico. Muestra M4

Universidad de Oriente Escuela Ciencias de la Tierra Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de los fluidos										
ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO										
Ubicación:		Sector Ya-Ya		Coordenadas				Fecha:	Abril 2018	
Nombre de la Muestra:		M4		Norte:	960158.23	Este:	602617.03			
Nº de Tamiz	Diámetro de tamiz (mm)	Peso de tamiz (gr.)	Tamiz + suelo (gr.)	Suelo Retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Resultados		
4	4,75	747,2	748,4	1,20	0,24	0,24	99,76	D ₁₀ =	0,2	mm
10	2,00	643,2	646,1	2,90	0,58	0,82	99,18	D ₃₀ =	0,26	mm
40	0,42	566,2	576,6	10,40	2,08	2,90	97,10	D ₅₀ =	0,28	mm
60	0,25	512	873,7	361,70	72,41	75,32	24,68	D ₆₀ =	0,30	mm
80	0,18	515	628,1	113,10	22,64	97,96	2,04	Cu =	1,5	-
100	0,15	395,6	402,7	7,10	1,42	99,38	0,62	Cc =	1,1	-
200	0,08	482,3	485,2	2,90	0,58	99,96	0,04			
PAN	0,00	483,6	483,8	0,20	0,04	100,00	0,00			
		Peso de suelo final		499,50	100,00					
		Peso de suelo inicial		500,00						
		% ERROR		0,10						

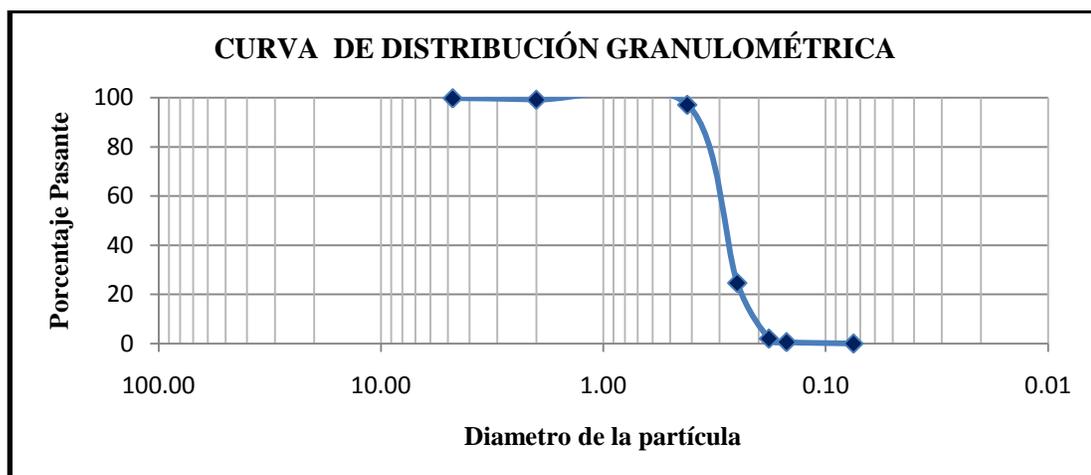


Figura A.4 Curva de distribución granulométrica. Muestra M4.

Tabla A.5 Análisis granulométrico. Muestra M5

Universidad de Oriente Escuela Ciencias de la Tierra Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de los fluidos										
ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO										
Ubicación:		Sector Ya-Ya		Coordenadas			Fecha:	Abril 2018		
Nombre de la Muestra:		M5		Norte:	959804.64	Este:		603421.36		
N° de Tamiz	Diámetro de tamiz (mm)	Peso de tamiz (gr.)	Tamiz + suelo (gr.)	Suelo Retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Resultados		
4	4,75	747,2	757,40	10,20	2,04	2,04	97,96	D₁₀ =	0,21	mm
10	2,00	643,2	648,20	5,00	1,00	3,04	96,96	D₃₀ =	0,26	mm
40	0,42	566,2	590,10	23,90	4,78	7,82	92,18	D₅₀ =	0,295	mm
60	0,25	512	871,20	359,20	71,87	79,69	20,31	D₆₀ =	0,30	mm
80	0,18	515	609,40	94,40	18,89	98,58	1,42	Cu =	1,4	mm
100	0,15	395,6	400,70	5,10	1,02	99,60	0,40	Cc =	1,1	mm
200	0,08	482,3	484,10	1,80	0,36	99,96	0,04			
PAN	0,00	483,6	483,80	0,20	0,04	100,00	0,00			
		Peso de suelo final		499,80	100,00					
		Peso de suelo inicial		500,00						
		% ERROR		0,04						

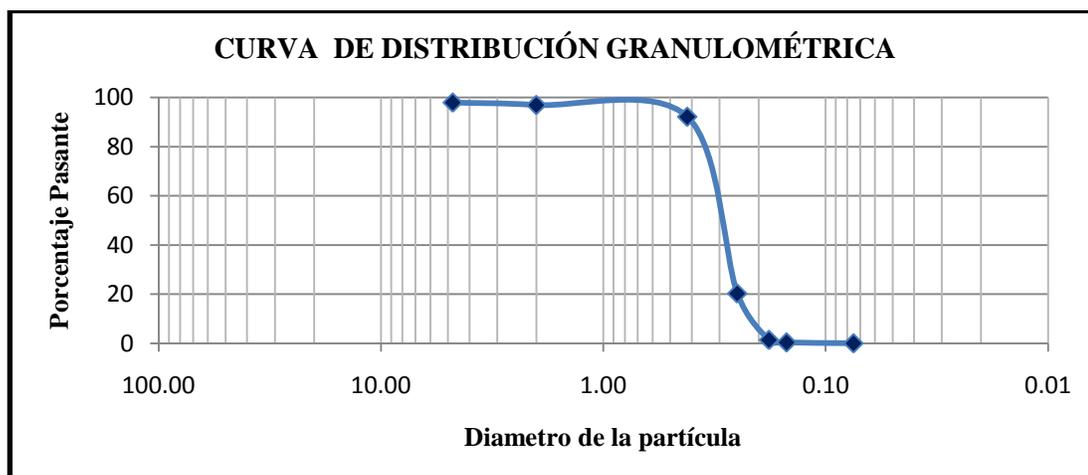


Figura A.5 Curva de distribución granulométrica. Muestra M5.

APÉNDICE B
SECCIONES TRANSVERSALES DEL CANAL ARTIFICIAL DRAGADO

Tabla B.1 Datos de las secciones transversales extraídos del plano batimétrico de Agosto 2001

Sección 5		Sección 4		Sección 3		Sección 2		Sección 1	
Progresiva (m)	Cota (m)								
0,00	-1,92	0,00	-1,52	0,00	-0,32	0,00	-1,42	0,00	-0,32
329,68	-15,42	322,17	-15,92	330,53	-12,12	316,60	-8,42	338,88	-7,72
680,70	-10,72	676,80	-11,82	694,98	-11,62	682,97	-10,62	732,87	-8,52
1035,06	-8,62	1032,49	-9,02	1051,87	-10,12	1064,40	-7,82	1145,85	-8,72
1398,72	-8,12	1394,29	-10,52	1409,15	-13,02	1456,79	-12,52	1560,41	-12,92
1675,79	-5,82	1720,89	-1,22	1769,75	-5,62	1892,66	-8,42	1985,19	-0,92

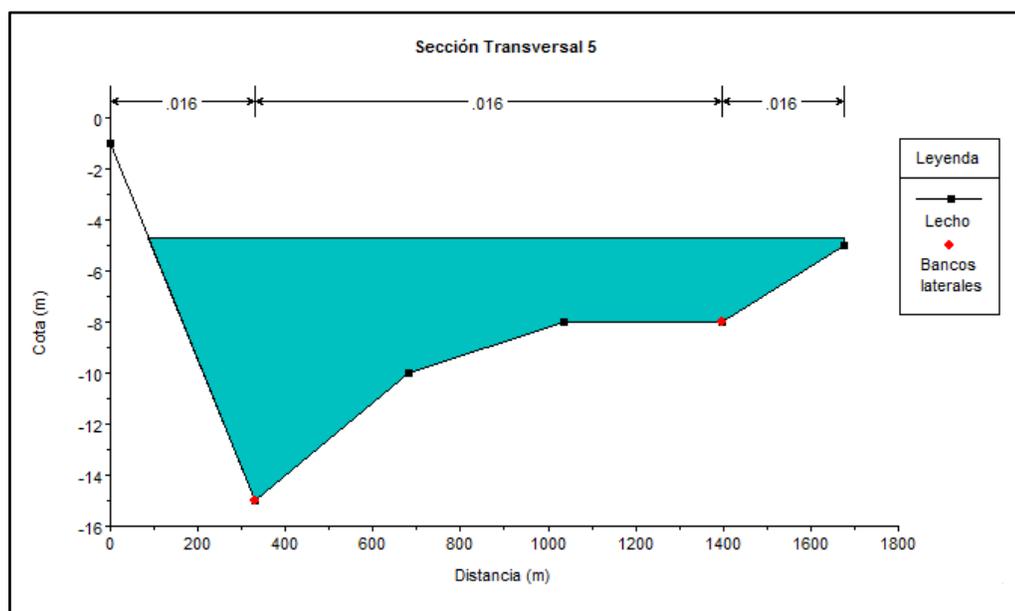


Figura B.1 Sección Transversal 05 del canal artificial dragado, en el sector Ya-ya, Agosto 2001.

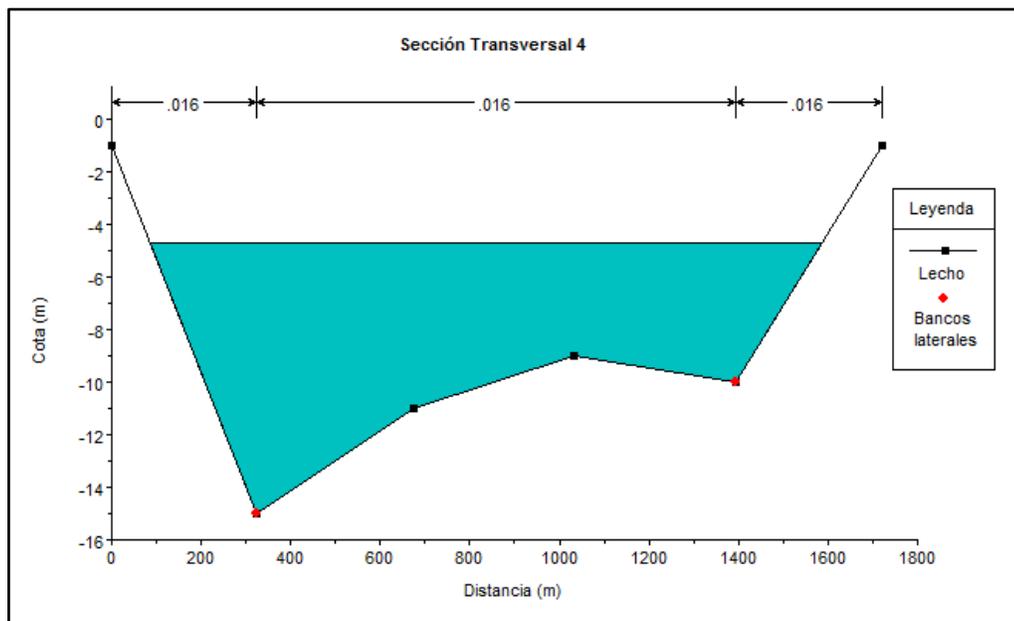


Figura B.2 Sección Transversal 04 del canal artificial dragado, en el sector Ya-ya, Agosto 2001.

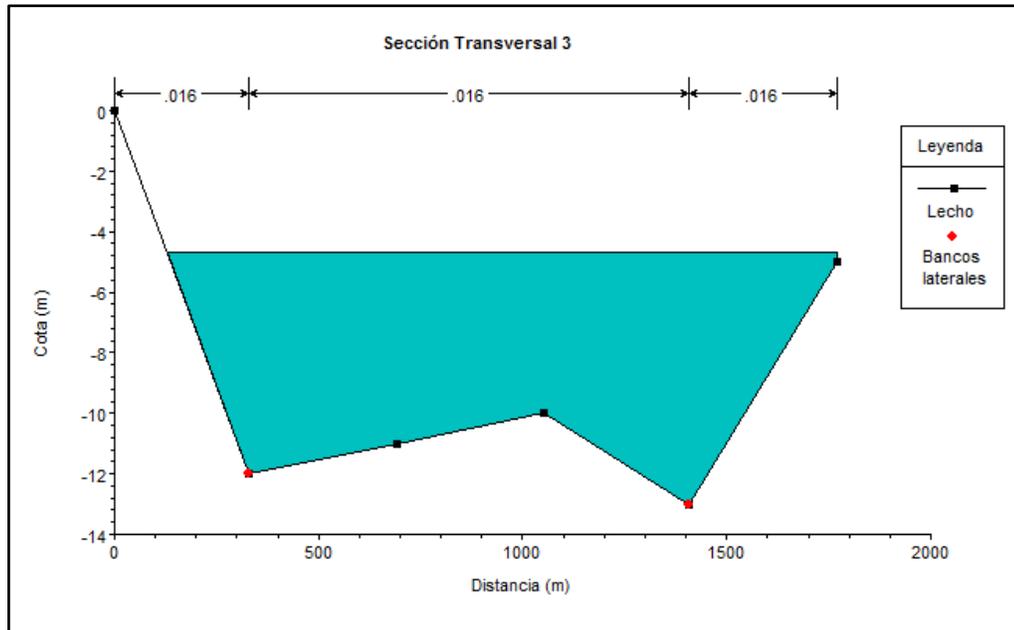


Figura B.3 Sección Transversal 03 del canal artificial dragado en el sector Ya-ya, Agosto 2001.

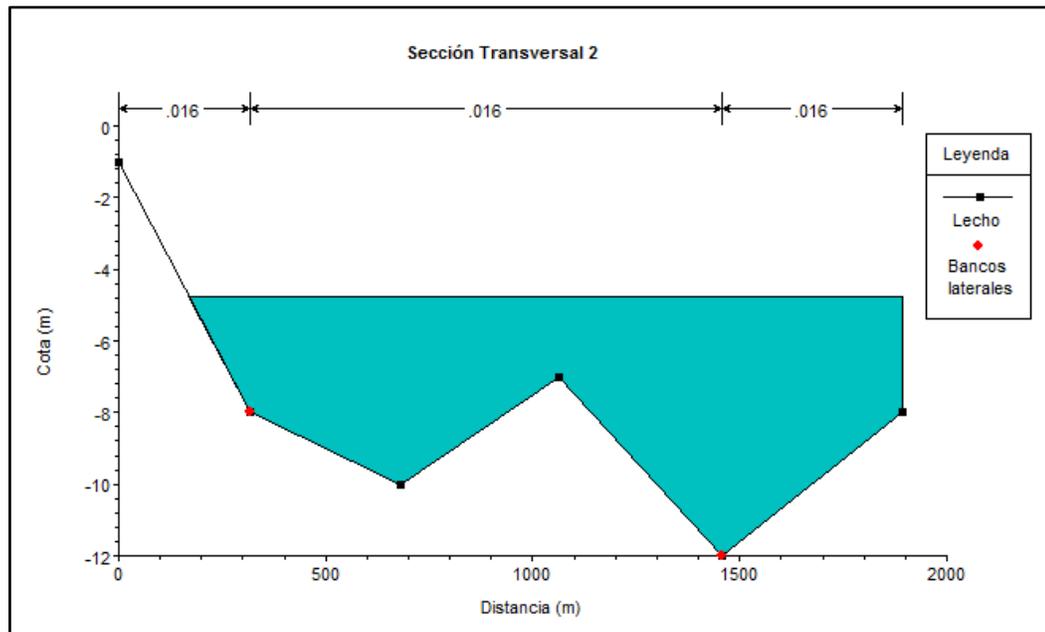


Figura B.4 Sección Transversal 02 del canal artificial dragado en el sector Ya-ya, Agosto 2001.

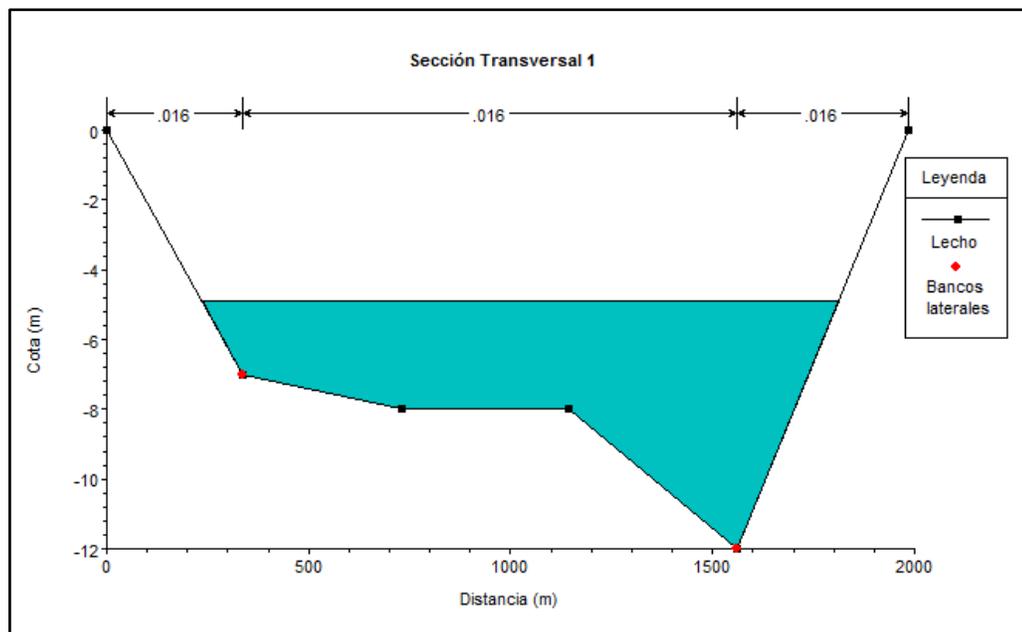


Figura B.5 Sección Transversal 01 del canal artificial dragado en el sector Ya-ya, Agosto 2001.

APÉNDICE C
CURVAS DE FRECUENCIA ACUMULADA SEGÚN EL MÉTODO DE VISHER

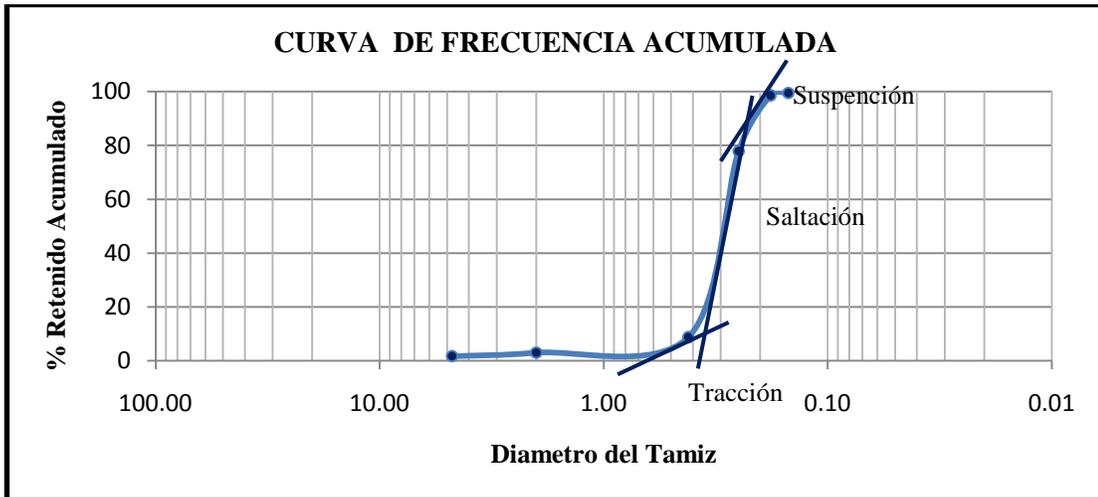


Figura C.1 Curva granulométrica según Visher. Muestra M1

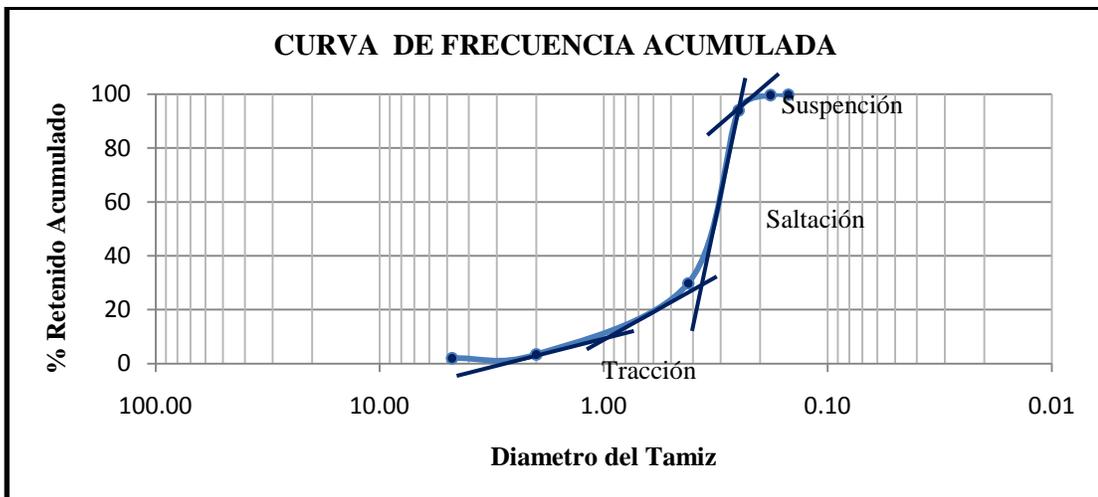


Figura C.2 Curva granulométrica según Visher. Muestra M2

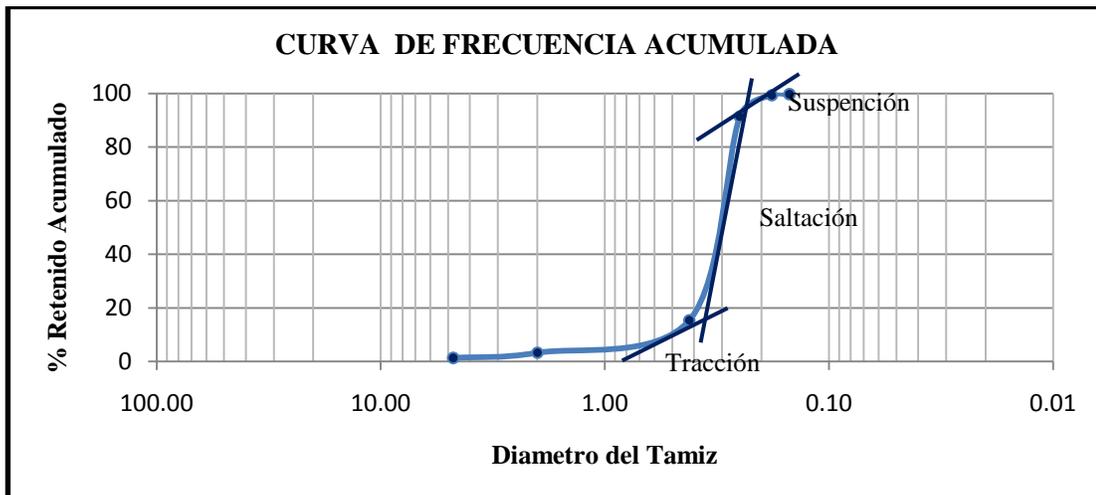


Figura C.3 Curva granulométrica según Visher. Muestra M3

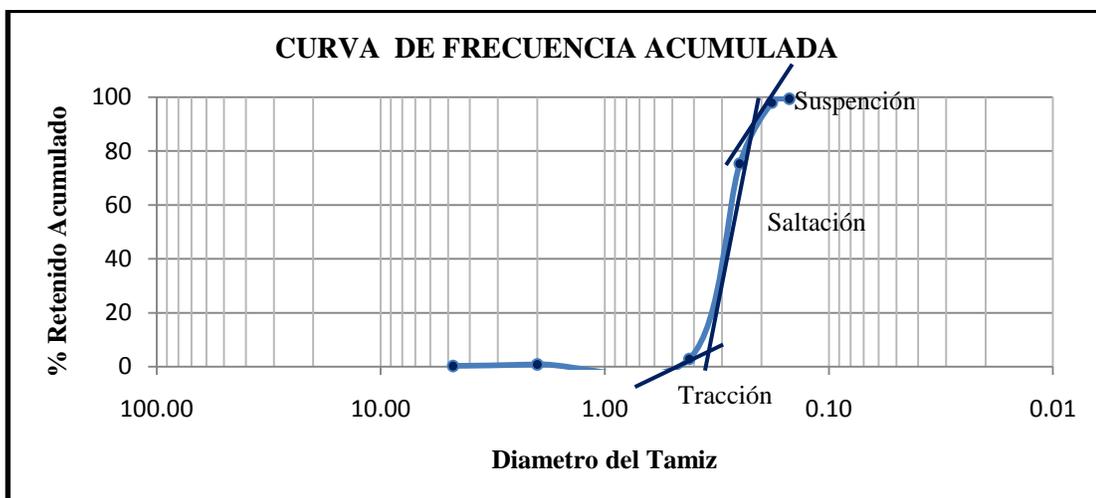


Figura C.4 Curva granulométrica según Visher. Muestra M4

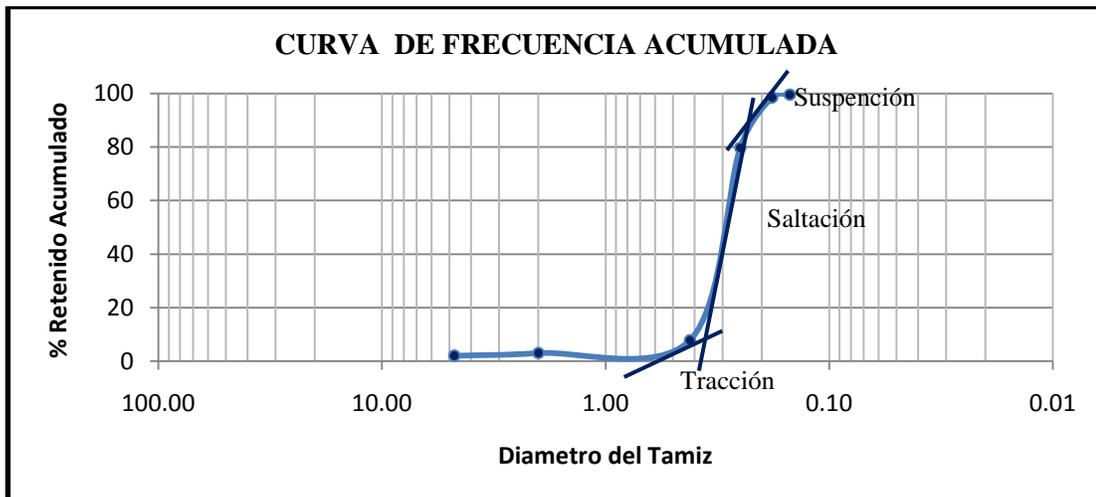


Figura C.5 Curva granulométrica según Visher. Muestra M5

APÉNDICE D
FOTOGRAFÍAS



Figura D.1 Vista de la ribera sur del río Orinoco en el sector Ya-ya



Figura D.2 Vista del río Orinoco aguas abajo del sector Ya-ya

ANEXOS

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

Título	PREDICCIÓN DE LAS FORMAS DEL LECHO DEL SECTOR YA-YA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ JUAN CARLOS	CVLAC	21.009.350
	e-mail	jucaguro118@gmail.com
	e-mail	
GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ LAURA MARÍA	CVLAC	24.542.818
	e-mail	lauramqr27@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Caracterización textural de los sedimentos
Parámetros hidráulicos y geométricos
Movimiento incipiente de los sedimentos
Mecanismos de transporte
Geomorfología del cauce

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Sedimentología	Estructuras sedimentarias
Hidrología	Movimiento incipiente de los sedimentos
Mecánica de Suelos	Clasificación granulométrica de los suelos

Resumen (abstract):

El objetivo central de este trabajo de investigación es la predicción de las formas del lecho que se producirán en el sector Ya-ya, estado Delta Amacuro, Venezuela. La investigación está orientada con una metodología de tipo descriptiva y diseño de campo. Para el logro de los objetivos trazados, se realizó un muestreo del material del lecho, tomando cinco (5) muestras del mismo, para conocer su distribución granulométrica y el grado de madurez de los sedimentos. Debido a la complejidad hidrodinámica presente en la zona de estudio, se requirió la realización de un modelo tridimensional, así como también la elaboración de secciones transversales, para conocer los patrones preferenciales de flujo presentes. Así mismo, se caracterizó hidráulicamente el sector Ya-ya, para estimar la relación de los niveles, caudales y velocidades de corriente medidos en el sector. Por otra parte, aplicando los criterios de movimiento incipiente de Hjulström y Van Rijn se determinó las velocidades que ameritan los materiales presentes en el sector, para comenzar el régimen de movimiento, conjuntamente siguiendo los principios de Visher se definió los mecanismos de transporte de las partículas. Finalmente, basados en los modelos matemáticos de Simons y Richardson, Engelund y Hansen se predijeron las tendencias de forma que tendrán los sedimentos del sector Ya-ya. Entre los resultados relevantes se pueden citar los siguientes: los sedimentos presentes corresponde a arenas mal gradadas con pocos finos o ninguno de tipo SP, predominan las formas sub-redondeadas y sub-angulosas en las partículas, las zonas de flujo preferencial de los sedimentos y las corrientes se encuentran hacia la parte central del canal, los parámetros hidráulicos analizados presentan una relación proporcional entre ellos, las velocidades necesarias para que las partículas entren en movimiento oscilan entre 2,30 cm/s y 20 cm/s, el mecanismo de transporte predominante es de saltación, bajo las condiciones evaluadas, los sedimentos presentan configuraciones de forma de tipo dunas y antidunas.

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL	/	Código CVLAC	/	e-mail				
Echeverría, Dafnis	ROL	CA	<input type="checkbox"/>	AS	<input type="checkbox"/>	TU	<input checked="" type="checkbox"/>	JU	<input type="checkbox"/>
	CVLAC	4.506.408							
	e-mail	dafnisecheverria2807@gmail.com							
	e-mail								
Ramos, Javier	ROL	CA	<input type="checkbox"/>	AS	<input type="checkbox"/>	TU	<input type="checkbox"/>	JU	<input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	14.145.647							
	e-mail	jdramos@udo.edu.ve							
	e-mail								
Monteverde, Francisco	ROL	CA	<input type="checkbox"/>	AS	<input type="checkbox"/>	TU	<input type="checkbox"/>	JU	<input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	12.192.676							
	e-mail	monteverdefr@gmail.com							
	e-mail								
	ROL	CA	<input type="checkbox"/>	AS	<input type="checkbox"/>	TU	<input type="checkbox"/>	JU	<input type="checkbox"/>
	CVLAC								
	e-mail								
	e-mail								

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2018	06	25

Lenguaje Spa

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

Archivo(s):

Nombre de archivo
PREDICCIÓN DE LAS FORMAS DEL LECHO DEL SECTOR YA-YA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO 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: _____

Temporal: _____

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Pregrado

Área de Estudio:

Ingeniería Geológica

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

Universidad de Oriente

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU Nº 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

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

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

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CURVELO
Secretario

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

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

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

101

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 solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo al Consejo Universitario, para su autorización."



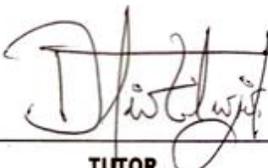
AUTOR

Juan Gutiérrez
C.I.:21.009.350



AUTOR

Laura Gutiérrez
C.I.:24.542.818



TUTOR

Profesor Dafnis Echeverría
C.I.:4.506.408



ACTA EXAMEN FINAL TRABAJO DE GRADO

Reunidos DAFNIS ECHEVERRIA (ASESOR), FRANCISCO MONTEVERDE Y JAVIER RAMOS MADRID, el día 25 de Junio del 2018 a las 11:30 am., en la Sala de Tesis, Escuela Ciencias de la Tierra Universidad de Oriente Núcleo Bolívar, para calificar el Trabajo de Grado presentado por él (la) Br. **JUAN CARLOS GUTIERREZ RODRIGUEZ.**, titular de la Cédula de Identidad Nro. 21.009.350, Titulado: “PREDICCIÓN DE LAS FORMAS DEL LECHO DEL SECTOR YA-YA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA”. Para optar al Título de: **INGENIERO GEÓLOGO**, después de revisar el trabajo antes mencionado, escuchada la exposición del candidato y de las preguntas que le fueron formuladas, opinamos que el mismo reúne las condiciones para su aprobación y la nota que le corresponde es de **APROBADO**.

Y para que así conste la firmamos en Ciudad Bolívar, a los veinticinco días del mes de Junio de Dos Mil Dieciocho.

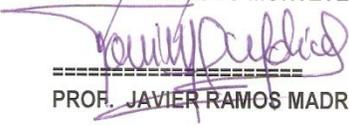
JURADOS:


=====

PROF. DAFNIS ECHEVERRIA


=====

PROF. FRANCISCO MONTEVERDE


=====

PROF. JAVIER RAMOS MADRID


=====

PROF. FRANCISCO MONTEVERDE
DIRECTOR DE ESCUELA





ACTA EXAMEN FINAL TRABAJO DE GRADO

Reunidos DAFNIS ECHEVERRIA (ASESOR), FRANCISCO MONTEVERDE Y JAVIER RAMOS MADRID, el día 25 de Junio del 2018 a las 11:30 am., en la Sala de Tesis, Escuela Ciencias de la Tierra Universidad de Oriente Núcleo Bolívar, para calificar el Trabajo de Grado presentado por él (la) Br. LAURA MARIA GUTÉRREZ RODRÍGUEZ., titular de la Cédula de Identidad Nro. 24.542.818, Titulado: “PREDICCIÓN DE LAS FORMAS DEL LECHO DEL SECTOR YA-YA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA”. Para optar al Título de: **INGENIERO GEÓLOGO**, después de revisar el trabajo antes mencionado, escuchada la exposición del candidato y de las preguntas que le fueron formuladas, opinamos que el mismo reúne las condiciones para su aprobación y la nota que le corresponde es de **APROBADO**.

Y para que así conste la firmamos en Ciudad Bolívar, a los veinticinco días del mes de Junio de Dos Mil Dieciocho.

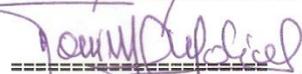
JURADOS:


=====

PROF. DAFNIS ECHEVERRIA


=====

PROF. FRANCISCO MONTEVERDE


=====

PROF. JAVIER RAMOS MADRID


PROF. FRANCISCO MONTEVERDE
DIRECTOR DE ESCUELA