

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



**ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS EN EL
SECTOR LOS CASTILLOS DEL RÍO ORINOCO. ESTADO
MONAGAS, VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR LAS BACHILLERES
COVA, JUANNYS. Y
SANABRIA, JHONATAN.
PARA OPTAR AL TÍTULO
DE GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, NOVIEMBRE DE 2017



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

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: **“ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS EN EL SECTOR LOS CASTILLOS DEL RÍO ORINOCO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA”**, presentado por los bachilleres, **COVA, JUANNYS.** y **SANABRIA, JHONATAN** de cédulas de identidad No: **20.259.151** y **19.729.395** respectivamente; como requisito parcial para optar al título de **GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente por el jurado integrado por los profesores

Nombre y Apellido:

Firma:

Profesor. Dafnis Echeverría

(Asesor)

Profesora. Zulimar Gámez

(Jurado)

Profesor. Javier Ramos

(Jurado)

Prof. Rosario Rivadulla
Jefe de Dpto. de Geología.

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

En Ciudad Bolívar, Noviembre de 2017.

DEDICATORIA

Dedicamos la elaboración de este trabajo de investigación ante todo a Dios Todopoderoso.

A nuestros Padres

A nuestra familia y todos nuestros seres queridos

Juannys Cova
Jhonatan Sanabria

AGRADECIMIENTOS

Nuestro eterno agradecimiento a todos nuestros seres queridos por impulsarnos y brindarnos siempre todo su apoyo durante la ejecución de nuestro Trabajo de grado.

A nuestro tutor académico Prof. Dafnis Echeverría por su guía y apoyo.

A la Universidad de Oriente por cubrimos con el sagrado manto del conocimiento.

Al Instituto Nacional de Canalizaciones por apoyarnos con el suministro de información.

Juannys Cova
Jhonatan Sanabria

RESUMEN

El objetivo fundamental del presente trabajo de grado consiste en analizar el movimiento de sedimentos que se produce en el lecho del cauce del sector Los Castillos, ubicado entre las progresivas fluviales: millas 150 y 165 del canal de navegación del río Orinoco, en el estado Monagas. La estrategia adoptada para dar respuesta al problema planteado fue documental y de campo. Para la realización de la presente investigación se describió el comportamiento de las corrientes con base a la correlación de los niveles del río, velocidades y caudales con base a los datos que les suministro el INC. Se tomaron muestras de suelo y se describieron texturalmente los materiales del lecho del cauce mediante el análisis granulométrico y el análisis morfométrico de las partículas. Posteriormente, se construyeron las secciones transversales, con información proveniente de levantamientos batimétricos costa a costa. Se utilizó el programa de simulación hidrodinámica SMS para analizar el movimiento de los sedimentos a lo largo del sector. Como resultados relevantes se determinó que los materiales del cauce se corresponden con arenas mal gradadas. Hidráulicamente los niveles del agua varían de acuerdo al ciclo hidrológico de la región es decir ascendiendo en la época de lluvias y descendiendo en la época de sequía. La elaboración de las secciones transversales y del modelo de flujo de sedimentos del cauce permitieron observar que las mayores profundidades se corresponden con el tramo medio del sector en su parte sur, paralela a la concavidad de la ribera. La aplicación del modelo hidrodinámico SMS permitió detectar que los sedimentos se movilizan siguiendo trayectorias subparalelas a la ribera sur del sector en estudio. Finalmente utilizando el modelo de Visher permitió determinar que los materiales del cauce se mueven siguiendo la distribución; por saltación (97 %), por suspensión (1 a 2 %) y por tracción (1 a 2 %).

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE APÉNDICES	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos de la investigación	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Justificación de la investigación.....	5
1.4 Alcance de la investigación	5
1.5 Limitaciones de la investigación	6
CAPÍTULO II. GENERALIDADES	7
2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio.....	7
2.2 Acceso al área de estudio	8
2.3 Características Climatológicas	8
2.4 Características Bióticas	9
2.4.1 Vegetación	9
2.4.2 Fauna.....	9

2.4.3 Ictiofauna	10
2.5 Río Orinoco	10
2.6 Geología Regional	11
2.6.1 Complejo de Imataca	12
2.6.2 Formación Mesa	13
2.6.3 Depósitos Aluviales	14
2.7 Geología del área	14
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	16
3.1 Antecedentes o estudios previos.....	16
3.2 Bases teóricas	17
3.2.1 Canales rectilíneos	18
3.2.2 Canales entrelazados.....	18
3.2.3 Canales meandriformes.	19
3.2.4 Características de los depósitos fluviales	21
3.2.4.1 Depósitos de barras de meandros	21
3.2.4.2 Depósitos de corrientes entrelazadas	22
3.2.5 Desarrollo de las barras fluviales.....	23
3.2.6 Clasificación de las barras	24
3.2.7 Barra longitudinales.....	24
3.2.8 Barras transversales	24
3.2.9 Barras acreción lateral	24
3.2.10 Mecanismos de transporte fluvial de los sedimentos	25
3.2.11 Tipo de régimen.....	27
3.2.12 Régimen de corriente.....	28
3.2.13 Corriente central	28
3.2.14 Corriente lateral	29
3.2.15 Corriente intermedia	29
3.2.16 Movimiento de los sedimentos	29

3.2.17 Modelo de Hjulstrum (1935)	30
3.2.18 Método de Visher	33
3.3 Definición de términos teóricos básicos.....	35
3.3.1 Barras	35
3.3.2 Los sedimentos gruesos (arenas y gravas).....	35
3.3.3 Los sedientos finos (arenas finas, limos y arcillas)	35
3.3.4 Carga de fondo.....	35
3.3.6 El número de Froude	36
3.3.7 Patrón de drenaje	36
3.3.8 Caudal	36
3.3.9 Saltación	36
3.3.10 Suelo	37
3.3.11 Estructuras	37
CAPÍTULO IV. METODOLOGIA DE TRABAJO	38
4.1 Tipo de investigación	38
4.2 Diseño de la investigación.....	38
4.3 Población y muestra de la investigación	39
4.3.1 Población de la investigación	39
4.3.2 Muestra de la investigación	39
4.4.1 Observación directa	40
4.4.2 Revisión literaria.....	40
4.4.3 Entrevistas no estructuradas	40
4.5 Flujograma de la investigación.....	41
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos	42
4.6.1 Caracterización textural de los materiales del cauce	42
4.6.2 Descripción de los mecanismos de transporte	44
4.6.3 Límites de velocidad de corriente para el movimiento de las partículas... 44	
4.6.4 Describir los patrones preferenciales de flujo de sedimentos.....	44

CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	45
5.2 Descripción textural de los sedimentos del lecho del cauce	46
5.2.1 Clasificación granulométrica de los materiales del lecho.....	46
5.2.2 Forma de las partículas del lecho.....	47
5.3 Velocidades de corriente límites para el movimiento	48
5.4 Mecanismos de transporte de sedimentos	50
5.5 Patrones preferenciales de flujo de sedimentos.....	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
Conclusiones	54
Recomendaciones.....	55
REFERENCIAS	56
APÉNDICES	66

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación relativa del sector Los Castillos.....	7
3.1 Principales tipos morfológicos de canales fluviales.....	19
3.2 Patrones de canales según las variables de control.....	20
3.3 Diferentes tipos de barras.....	25
3.4 Mecanismo de transporte y tipo de transporte en función de la granulometría.....	26
3.5 Diagrama de Hjulstrum.....	30
3.6 Perfil longitudinal de un río con selección granulométrica.....	31
3.7 Tipos de transporte de los sedimentos de un río.....	33
3.8 Curvas de distribución de tamaño de grano.....	34
4.1 Flujograma de la investigación.....	41
5.1 Correlación de caudal, nivel y velocidad.....	45
5.2 Puntos de muestreo en el sector Los Castillos.....	46
5.3 Curva de distribución granulométrica de la muestra 1.....	47
5.4 Curva de distribución granulométrica de la muestra 2.....	47
5.5 Curva de distribución granulométrica de la muestra 3.....	47
5.6 Análisis de forma de las partículas.....	48
5.7 Modelo de Hjulstrum aplicado.....	49
5.8 Curva granulométrica según Visher para la muestra 1.....	50
5.9 Curva granulométrica según Visher para la muestra 2.....	50
5.10 Curva granulométrica según Visher para la muestra 3.....	51
5.11 Modelo de patrones de flujo de sedimentos y magnitud de velocidad de corriente.....	53

LISTA DE TABLAS

	Página
2.1 Características climatológicas del sector Los Castillos.....	8
5.1 Velocidad límite para que se produzca los estados de movimiento de los sedientos.....	49
5.2 Fracción porcentual que se moviliza de acuerdo al mecanismo de transporte según Visher.....	51

LISTA DE APÉNDICES

	Página
A SECCIONES TRANSVERSALES DEL LECHO	67
A.1 Sección transversal 60.....	68
A.2 Sección transversal 50.....	68
A.3 Sección transversal 40.....	69
A.4 Sección transversal 30.....	69
A.5 Sección transversal 20.....	70
A.6 Sección transversal 10.....	70

INTRODUCCIÓN

El dragado de mantenimiento del río Orinoco es realizado y controlado por el Estado Venezolano a elevados costos. Desde hace varios años los equipos propiedad del Estado se encuentran inoperativos por lo que el dragado de mantenimiento se realiza con equipos contratados internacionalmente. Actualmente, el costo del metro cúbico de sedimento dragado a contratar, oscila aproximadamente entre 2.50 US\$ y 4.00 US\$ (dependiendo de las condiciones del entorno donde se dragará y de los equipos a utilizar); en vista de lo cual, es necesario agotar esfuerzos para optimizar tales operaciones, dada las grandes cantidades de sedimentos (8.000.000 m³) que deben ser removidas del lecho del río Orinoco anualmente

En vista de esta situación, se deben agotar esfuerzos para conocer cómo se producen los procesos sedimentarios y de movimiento de los sedimentos, razón por la cual el análisis del movimiento de los sedimentos se ha planteado como objetivo principal de esta investigación. Entre las características del entorno que es necesario considerar se encuentra la: textura de los sedimentos, y la climatología, entre otras;

Este análisis permitirá obtener una información más detallada del sector Los Castillos en cuanto a la movilización de los sedimentos.

Esta investigación se estructura en cinco (5) capítulos:

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

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

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

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

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

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

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

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

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

El sector Los Castillos del río Orinoco se encuentra ubicado en las millas 165-150 en el tramo conocido como Bajo Orinoco y el mismo ha venido presentando problemas de sedimentación evidenciándose con el ascenso de los niveles batimétricos en su cauce a veces visibles con el emerger de isletas y bancos de arena cerca de la superficie.

En vista de ello, se plantea como problemática de investigación la necesidad de conocer con mayor detalle todo lo referente a los procesos de movimiento de sedimentos que ocurren en el sector, por lo cual cabe plantearse las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuál es la relación existente entre los niveles del río, la velocidad de la corriente y los caudales que se producen en el sector Los Castillos?

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

¿Cuál es la forma como se movilizan los sedimentos en el sector los Castillos?

¿Cuáles son las velocidades mínimas requeridas para que los sedimentos del cauce en el lecho del río se pongan en movimiento?

¿Cuáles son los patrones preferenciales de flujo que siguen los sedimentos en el sector Los Castillos?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Analizar del movimiento de los sedimentos del lecho del cauce del sector Los Castillos del río Orinoco, estado Monagas, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Correlacionar los parámetros hidráulicos. Velocidad de flujo, caudal y nivel del agua, con base a los datos de las campañas de aforo realizadas en el área de estudio por el INC.
2. Describir texturalmente los sedimentos presentes en el lecho del cauce del río Orinoco en el sector Los Castillos.

3. Definir los procesos predominantes de movimiento de sedimentos de acuerdo al criterio de Visher.
4. Describir los límites de velocidades necesarios para que se produzca el movimiento de los sedimentos de acuerdo al criterio de Hjulstrum
5. Describir los patrones preferenciales del flujo de los sedimentos en el sector Los Castillos.

1.3 Justificación de la investigación

La presencia de un canal de navegación cuyas profundidades navegables se obtienen mediante labores de dragado de mantenimiento hace indispensable disponer de un conocimiento cabal del sector. La eficiencia o no de los trabajos de dragado de mantenimiento están estrechamente vinculados a la dinámica del movimiento de los sedimentos en el sector Los Castillos.

En vista de tales circunstancias se debe establecer todos los mecanismos y procesos que utiliza el río Orinoco para realizar el transporte de sedimentos.

1.4 Alcance de la investigación

Con el desarrollo de este proyecto de investigación se pretende obtener distintas explicaciones tanto cualitativas como cuantitativas respecto a la dinámica de los diversos procesos que interactúan en el sector Los Castillos, esperando extraer toda la información pertinente que permita la comprensión del transporte de sedimentos en este tramo del río Orinoco.

1.5 Limitaciones de la investigación

Durante la formulación de la presente investigación no se han detectado obstáculos o inconvenientes que pudiesen de alguna manera interferir con el logro de los objetivos planteados.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio

El área de estudio comprende el sector Los Castillos específicamente desde la milla 165 hasta 150 del canal de navegación de río Orinoco (Figura 2.1). En esta zona el río se caracteriza por presentar un estrechamiento natural, debido a la resistencia a la erosión que impone la litología del Cerro Hacha localizado en la margen derecha descendente y de Punta de Piedra localizado en la margen izquierda descendente se observa que sobre un eje central del río Orinoco se encuentra una isla, cuyo origen es sedimentario, denominada iguana la cual bifurca el flujo del río, localizándose en su extremo Sur el Brazo Imataca y en su extremo Norte la Formación Mesa. Se ubica mediante las siguientes coordenadas geográficas: entre $61^{\circ}38'$ y $61^{\circ}29'$ de longitud Oeste y entre $8^{\circ}34'$ y $8^{\circ}32'$ de latitud Norte.

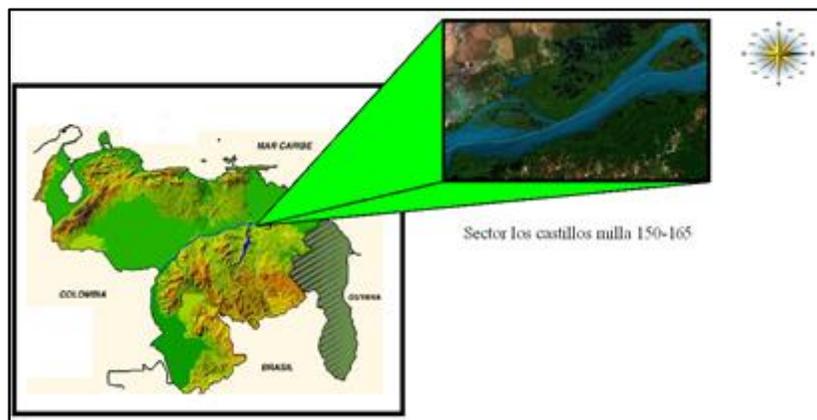


Figura 2.1 Ubicación relativa del sector Los Castillos.

2.2 Acceso al área de estudio

En el sector Los Castillos el acceso se logra por vía fluvial, por medio de embarcaciones públicas o de empresas privadas que pueden ser abordadas en los puertos de San Félix o los Barrancos de Fajardo. Una vez abordada la embarcación se deberá navegar aproximadamente durante dos (2) horas en dirección río abajo (hacia el este).

2.3 Características Climatológicas

Este sector de la cuenca del río Orinoco está dominado por un clima tropical seco, la temperatura permanece prácticamente inalterable a lo largo de este sector del canal de navegación y se ubica en el orden de los 27° aproximadamente.

Es una zona de precipitación media que tiene una variación lineal en forma descendente entre 2700 mm a 950 mm. La evaporación media anual, y por consiguiente la evapotranspiración, presenta valores un poco variables que van desde 2700 mm a 1750 mm a lo largo de todo el tramo, con valores que están entre los 2025 mm a 1313 mm, respectivamente. Esto se produce a la presencia de los meses de sequía presentes en todo el territorio nacional y por ende en la cuenca de todo canal de navegación (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Características climatológicas del sector Los Castillos
(Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994)

Bioclima	Bosque Seco Tropical
Temperatura Media Anual (°C)	27.6
Precipitaciones Media Anual (mm)	2700 a 950
Evaporación Media Anual(mm)	2700 a 1750
Evapotranspiración (mm)	2025 a 1313
Meses Secos	5 -12 a 4-5
Meses Húmedos	0-7 a 7-8

2.4 Características Bióticas

2.4.1 Vegetación

El área de estudio se caracteriza por poseer bosques de galería medios semi-densos, para zonas de límites muy definidos a partir de los bosques del río. De alguna forma esta vegetación ha ido desapareciendo con el tiempo, casi en su totalidad para abrir camino a diversas actividades agropecuarias del sector y así como también a los asentamientos sub-urbanos y rurales (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994). El resto está ocupado por herbazales anegadizos, las cuales se presentan como comunidades que se caracterizan por la ausencia total de especies leñosas. Ocupan zonas que están sujetas a inundaciones periódicas de gran intensidad y duración tales como bancos, áreas depresionales de islas y otros sitios de rebalse.

2.4.2 Fauna

La fauna silvestre del estado Bolívar, alberga una gran variedad de especies que son características de los territorios del sur del río Orinoco, llegándose a reportar hasta 212 especies de mamíferos pertenecientes a 31 familias.

En la actualidad existen (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994) varias especies que se encuentran en peligro de extinción, dentro de las cuales tenemos: el perro de agua (*pteronurabrasiliensis*) y el manatí (*trichechos manatos*), también se encuentra amenazada de extinción: la tortuga arrau (*podocnemisexpansa*) y el conocido caimán del Orinoco (*crocodylusintermedius*).

Esta zona posee una gran biodiversidad de aves, las cuales oscilan aproximadamente entre 1.108 especies, de este total de aves sólo 41 representan una vital importancia en los aspectos económicos cinegético (Consultora Ingeniería Caura

S.A, 1994). De igual manera se reportan 133 especies de reptiles repartidas en 18 familias.

2.4.3 Ictiofauna

El río Orinoco, en comparación con otros ríos latinoamericanos, presenta un ciclo hidrológico bien marcado que de una forma periódica introduce cambios en el ecosistema, generando variaciones en todos los componentes internos, tanto en la flora como en la fauna, debiéndose producir, por parte de éstos comportamientos adaptativos que de alguna manera le garanticen la sobrevivencia (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994).

La ictiofauna del río Orinoco se estima alrededor de 500 especies de peces la mayoría de ellas realizan movimientos migratorios para diversos fines, tales como reproducción dispersión o alimentación

2.5 Río Orinoco

Entre los ríos más caudalosos del mundo, el Orinoco ocupa el tercer lugar, después del Amazonas y del Zaire (Folleto N° 15 del Museo de Ciencias de Venezuela, 2001). Es también el tercer río más largo de Sudamérica y el número veinte en todo el planeta. Para Venezuela, el Orinoco constituye la principal reserva hídrica. La historia y el significado de este gigante de agua que comienza a formarse en las espesas selvas de la Sierra de Parima, en el estado Amazonas, y que cruza de este a Oeste el escudo guayanés para luego, en un cerrado giro, atravesar el país en sentido contrario, recibiendo el tributo de 31 afluentes principales, ríos, riachuelos y quebradas. De éstos, los más importantes son 194. 95 por la margen derecha y 99 por la margen izquierda. Tiene una longitud de 2.140 Km y su cuenca cubre 1.015.000 Km²

El recorrido del río, se puede dividir en tres partes (I.N.C, S. F):

Bajo Orinoco, desde el Atlántico hasta la boca del río Apure, 880 Km. En esta parte, encontramos condiciones adecuadas para una buena navegación fluvial que, por un trecho de 360 Km, es también marítima.

Orinoco Medio, de unos 550 Km. Entre la boca del Apure y San Fernando de Atabapo. En este tramo están ubicados los raudales de Atures y Maipures y las condiciones de navegación son más difíciles, por la reducción del caudal de agua, el incremento de las pendientes del lecho del río y el hecho de que en el cauce aparecen más obstáculos.

Alto Orinoco, de unos 710 Km, desde San Fernando de Atabapo hasta sus fuentes. En este tramo la navegación es todavía más difícil y en los últimos 250 Km es prácticamente imposible.

Todas las distancias que se mencionan en este contenido se miden desde un punto considerando como Km 0, situado en el océano Atlántico, en la curva de profundidad 13m.

2.6 Geología Regional

El sector Los Castillos se encuentra limitada geológicamente hacia el Norte por la Formación Mesa del pleistoceno y depósitos aluvionales del Orinoco venezolano, y hacia el Sur por las rocas del Precámbrico Inferior del Complejo de Imataca.

En base a características petrológicas y tectónicas, el escudo de Guayana ha sido dividido en cuatro provincias como son: Imataca, perteneciente al denominado cinturón granulítico, Pastora a los cinturones de rocas verdes, Cuchivero se

caracteriza por grandes extensiones de granitos (1800 +/- 200 m.a) y granitos post-tectónicos (1500 m.a). La provincia de Roraima es una cobertura discordante sobre rocas pertenecientes a las provincias de Pastora o Cuchivero (González de Juana y otros, 1980).

2.6.1 Complejo de Imataca

La Provincia de Imataca se encuentra ubicada al Norte de la Guayana venezolana, se extiende a lo largo del río Orinoco como una franja paralela a su rivera, posee una longitud aproximada de 500 km y una anchura variable de 65 a 130 km (González de Juana y otros, 1980).

Su ubicación es aproximadamente desde el Oeste del río Caura, hasta el Este, donde finaliza con los sedimentos Deltaicos del estado Delta Amacuro, y al sur donde finaliza con las fallas de Santa Bárbara, Guri y el Pao.

El complejo de Imataca es una unidad rocosa, perteneciente al Precámbrico conformada principalmente por gneíses graníticos, gneíses anfíbolíticos, migmatitas, charnosquitas y en menor proporción cuarcitas ferruginosas. El grado metamórfico es alto (Mendoza, V., 2000).

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 y otros, 1980).

Dado que el suelo residual proveniente de rocas graníticas incrementa su espesor en área que se hallan preservadas de la erosión, es de esperarse que los mayores espesores de suelo residual se encuentren en las depresiones o siguiendo las

fracturas de las rocas, en tanto que los menores espesores se encontraran en la cumbre de las elevaciones, en los terrenos de pendiente pronunciadas o en áreas contiguas a los cursos de agua (Mendoza, V., 2000).

2.6.2 Formación Mesa

Según González de Juana y otros, (1980), se le asigna este término para definir la Formación que cubre las extensas mesas fisiográficamente características en la parte oriental en la Cuenca Oriental de Venezuela. La Formación Mesa se extiende geográficamente por los llanos orientales, desde el pie de monte de la cordillera de la Costa hasta unos pocos kilómetros, al Sur del río Orinoco en las cuencas bajas de los ríos Aro, Caroní y Yocoima donde se localizan las poblaciones de Puerto Ordaz y San Félix, abarcando los estados de los Llanos Orientales de Guárico, Anzoátegui, Monagas y Sucre.

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, 1971).

Basándose en estudios realizados tanto en observaciones superficiales como en perforaciones la Formación Mesa sufre una gradación de más gruesos a más finos al alojarse en las cadenas montañosas del norte hacia el sur, y una gradación contraria, es decir, de más fino a más gruesos, desde la región central de Monagas, también hacia el sur al acercarse al Macizo de Guayana (Mendoza, V., 2000).

2.6.3 Depósitos Aluviales

Son depósitos constituidos por limos, arcillas y arenas muy micáceas depositados por el río, 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 y otros, 1980).

Están localizados en Monagas y en el Delta del río, donde van a concentrarse después de su recorrido.

2.7 Geología del área

El sector en estudio se encuentran limitado al 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 se caracteriza por presentar el flanco donde corre el mayor número de tributarios del Orinoco y también sus distribuidores principales (Echeverría y Medina, 1992).

Litológicamente el sector Los Castillos está constituido por sedimentos de río provenientes principalmente del Complejo de Imataca los cuales son depositados en el lecho durante los proceso de erosión, sedimentación y transporte que anualmente realiza el río como parte de los cuatro ciclos que cumple (Echeverría y Medina, 1992).

La litología está conformada por rocas clásticas no consolidadas (aluviones) con una permeabilidad variablemente alta y con una fecha aproximada de origen las

cuales fueron formadas por material muy reciente, con alto contenido de mica En cuanto a su sismicidad, el área en estudio presenta peligro sísmico medio con posibles deformaciones de la superficie terrestre (Echeverría y Medina 1992).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes o estudios previos

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

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

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

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

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

3.2 Bases teóricas

El estudio de numerosos ríos y sistemas fluviales han demostrado que la geometría se organiza según tres tipos morfológicos, en función de la sinuosidad del canal (relación entre la longitud del canal y la longitud reducida del valle en un tramo), y del número de canales activos simultáneamente. Estos tres tipos son (Figura 3.1):

1. Canales rectilíneos.
2. Canales entre lazados o prensados.
3. Canales meandriformes.

Esta clasificación como todo intento de caracterización de fenómenos naturales es una simplificación de la realidad, puesto que existen todos los términos de transición entre estos tres tipos extremos. Sin embargo, para el estudio de los depósitos fluviales antiguos esta diferenciación en tipos de canales constituye la base de los modelos conceptuales que permite interpretar los depósitos. En general, la mayoría de los depósitos en canales fluviales son del tipo entrelazados o meandriformes. En efecto, los canales rectilíneos son relativamente raros y característicos sobre todo de canales distributarios deltaicos (Miall, A. 1978).

Estos tipos morfológicos corresponden a variaciones en los parámetros hidrológicos y sedimentarios. Estos se describen a continuación:

3.2.1 Canales rectilíneos

Las corrientes que fluyen en valles fácilmente erosionables tienen cauces rectos que pueden llegar ser hasta diez veces el ancho del canal; en valles estrechos los cauces rectos pueden extenderse por varias millas. El flujo en estos cauces rectos generalmente toman un curso sinuoso y llegan a producir pequeñas barras (barras laterales), en los lados del canal o incluso hasta un conjunto entre lazado el relleno de estos canales pueden ser vertical o lateral y puede ser similar a los depósitos de barras de meandros a los complejos de ríos entrelazados (Miall, op. cit).

3.2.2 Canales entrelazados

Están caracterizados por una relativamente débil sinuosidad del canal mayor y una gran complejidad interna, representado por numerosos canales separados por islas o barras aluviales. El hecho esencial de estos ríos es la fragmentación de escorrentía en una red de numerosos “thalweg” (líneas de máxima profundidad del canal) formando una geometría en trenza. La anchura del cauce puede ser muy importante (varios kilómetros) con una profundidad bastante débil (1 – 10m). Esta aparente complejidad y desorganización interna del río es reflejo de la inestabilidad inherente del sistema, puesto que la geometría del canal y de las barras en estos ríos está continuamente en movimiento. Los ríos entrelazados se forman generalmente cuando la pendiente de escorrentía es elevada y cuando los sedimentos transportados están caracterizados por elevado porcentaje de arena y grava (Figura 3.1) (Reineck y Singh, 1990).

Este predominio de sedimentos granulares (arenas y gravas) sobre los cohesivos (limos y arcillas) confiere una mayor inestabilidad al río, ya que la arena es mucho más fácilmente erosionable que la arcilla.

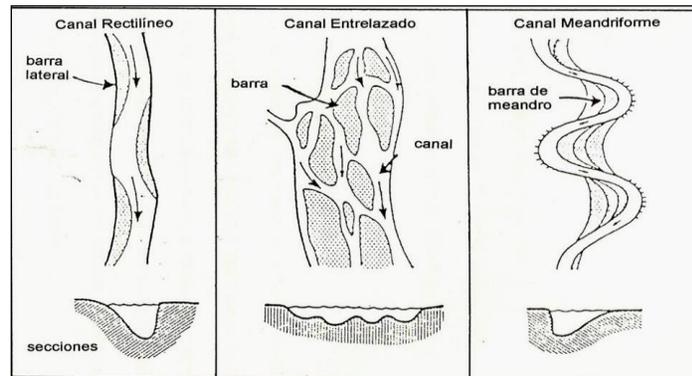


Figura 3.1 Principales tipos morfológicos de canales fluviales (Reineck y Singh, 1990).

Por otro lado los ríos entrelazados presentan, a menudo grandes variaciones de caudal y fluctuaciones en las cargas y descargas de sedimentos (Figura 3.2).

El entrelazamiento se inicia al formarse barras sumergidas al bajar el nivel del agua después de una creciente. Tales barras desvían las aguas a su alrededor y se convierten en partes estables del canal. Los complejos de corrientes entrelazados aumentan por el proceso de acreción vertical, especialmente en los ríos intermitentes los cuales descargan grandes volúmenes de sedimentos y obstruyen los canales (Reineck y Singh, op. cit).

3.2.3 Canales meandriformes.

Están caracterizados por fuerte sinuosidad, la presencia de un solo “thalweg” o canal. Y una mayor estabilidad morfológica que en los ríos entrelazados. Estos ríos muestran una buena organización geométrica, en meandros de trazados regulares. La batimetría de los canales sigue una evolución característica con la parte profunda localizada a lo largo de la orilla cóncava, lo que confiere una forma asimétrica, en sección, muy característica (Galloway y Hobday, 1983).

Los ríos meandriformes se forman en la zona con gradientes topográficos débiles y los sedimentos transportados se caracterizan por una elevada producción de sedimentos finos, al contrario de los ríos entrelazados. La presencia de cantidades importantes de arcilla que se depositan sobre todo en las márgenes aumenta la estabilidad del canal, puesto que las márgenes arcillosas son mucho más difícilmente erosionables que las márgenes arenosas de los ríos entrelazados.

Sin embargo, puesto que los ríos entrelazados tienden a erosionar lateralmente con mayor facilidad que los ríos meandriformes, estos últimos se caracterizan además, por una relación longitud/profundidad menor que los ríos entrelazados (Galloway y Hobday, op. cit) (Figura 3.2).

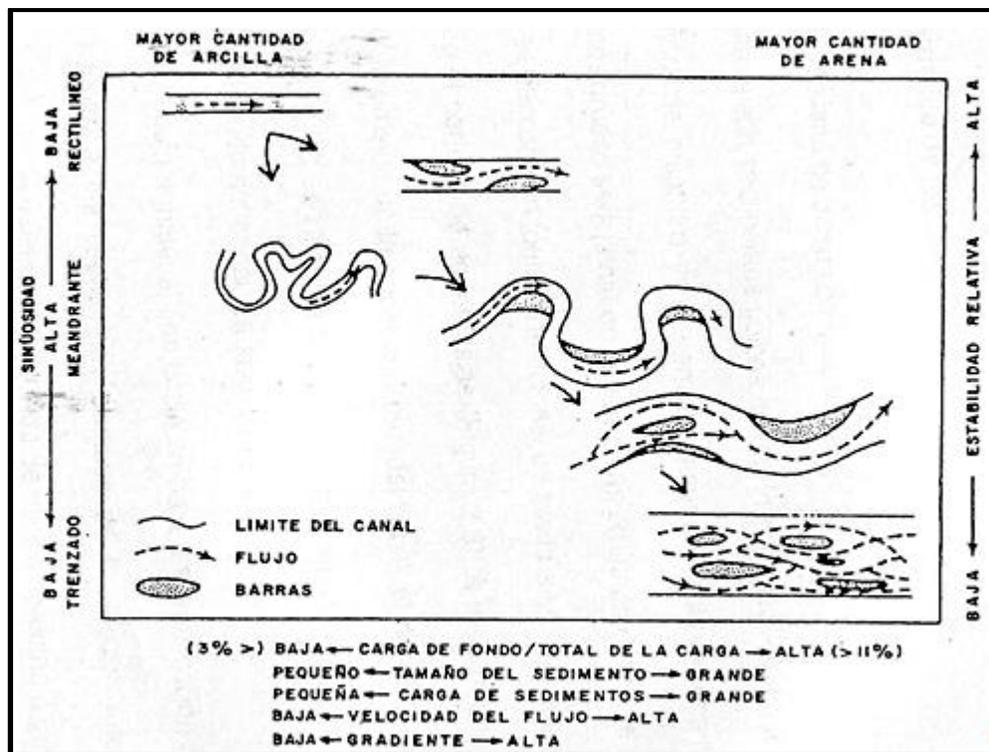


Figura 3.2 Patrones de canales según las variables de control (Galloway y Hobday, 1983).

3.2.4 Características de los depósitos fluviales

3.2.4.1 Depósitos de barras de meandros

Las barras son sedimentos típicos de un río con meandros que se forman por migración lateral del meandro, ya sea en una llanura aluvial o en una llanura deltaica. El material más grueso sedimenta en la parte más profunda del canal y el material de suspensión se deposita en forma gradacional de arena a arcilla, en la superficie de la barra durante el período de aguas bajas. A medida que el meandro se desplaza por la erosión de la ribera cóncava del canal, el depósito va creciendo por acreción lateral, y los sedimentos finos van cubriendo progresivamente el material más grueso del fondo del canal. La secuencia textural característica es entonces de material grueso abajo a material fino hacia arriba. La estratificación cruzada de gran escala caracteriza a las capas más gruesas de la sección inferior; la sección intermedia desarrolla estratificación cruzada de escala mediana a grande y grande; la sección superior, de material fino muestra rizaduras pequeñas y una cubierta de arcilla, la cual se deposita en la fase final de descenso de las aguas de inundación (Alfonsí, P. 1983).

Cabe destacar que la acción hidráulica de las aguas juega un papel importante en tiempo de crecida, ya que es capaz de arrastrar en poco tiempo enormes cantidades de material no consolidado. El agua no sólo profundiza el cauce, sino que, además; socava las márgenes y origina el desprendimiento de grandes masas de aluviones que son rápidamente disgregadas y entran a formar parte de la carga del mismo, este proceso denominado excavación de las márgenes, es una importante fuentes de sedimentos durante los períodos de crecidas de los ríos y se halla asociado a los rápidos desplazamiento laterales que experimenta el cauce del río en las partes externas de los meandros.

3.2.4.2 Depósitos de corrientes entrelazadas

En las corrientes anastomosadas o entrelazadas, los canales están separados por islas o barras depositadas por la propia corriente, las cuales se forman por acumulación del material aguas abajo por cualquier obstáculo o de los restos de alguna antigua barra, cuando las crecientes comienzan a bajar de nivel. En épocas de aguas bajas los canales permanecen separados y el flujo de la corriente queda confinado a los canales, pero durante las crecidas las islas o las barras pueden quedar sumergidas (Allen y Segura, 1989).

Los cuerpos de arena depositados por las corrientes entrelazadas se adaptan a la geometría de valle del río. Durante la época de creciente, todo el valle está sujeto a socavación, la corriente crea nuevos cauces en los sedimentos de fondo y los canales últimamente rellenos se desarrollan a lo ancho. Al progresar la gradación en el valle, las fases de inundación y de posición se reflejan en las superficies locales de erosión (fondo de los canales), y en las unidades apiladas que gradan de grueso a fino hacia arriba típicamente los depósitos de las corrientes entrelazadas muestran una variación vertical o lateral.

El predominio de la población de transporte en saltación y tracción es la característica más importante en este tipo de depósito. Texturalmente, los cuerpos de arena individuales están constituidos por proporciones variables de grava, grava arenosa, arena guirrajosa y arena gruesa. Las capas de arcilla y limo son escasas.

El elemento más sorprendente de estos ríos es la diversidad de tipo de barras que separan los canales. Numerosos autores en estudiado en detalle la morfología de esta barra y la terminología dada su diversidad cada vez es más confusa. Con respecto al estudio y la interpretación de series antiguas y recientes es relativamente inútil tal grado de detalle en la descripción.

3.2.5 Desarrollo de las barras fluviales

De las estructuras más frecuentes y de gran extensión superficial en el canal del río Orinoco, las barras arenosas junto con las islas fluviales, son las que atraen la mayor atención cuando se observa el río en aguas bajas. Las primeras al ser sometidas a la erosión durante los flujos medios y altos, experimentan cambios y transformaciones más acentuadas, llegando a ser removidas y desplazadas por el flujo, lo que ocurre con mayor intensidad en las inmediaciones a las confluencias con los contribuyentes que aportan apreciables cantidades de sedimentos arenosos, tales como el meta, Arauca, Apure, Cuchivero y Caura (Instituto de Mecánica de Fluidos. U.C.V, 1998).

Donde la acción eólica se combina al transporte fluvial, el mecanismo que controla la estabilidad, crecimiento o migración de estas barras se hace más complejo presentando formas complejas, por ejemplo existen estructuras mixtas de dunas eólicas superpuestas a las fluviales, con crestas indicando desplazamientos al sentido contrario al transporte fluvial (tramo Boca del Arauca – Cuchivero – Punta Brava).

Las barras de punta tal como se presentan en ríos ameandrados de llanuras, no son comunes de observar en las aéreas con curvaturas en el río Orinoco. Se piensa que de existir temporalmente en forma subacuática, estas son luego removidas por los flujos elevados del río Orinoco, mediante la formación de canales laterales que separan la barra del resto de la planicie.

Las barras alternadas son poco frecuente en el canal del río Orinoco, y sólo observable en condiciones de aguas bajas en sectores localizados. El flujo al confinarse en el canal en aguas medias y bajas, produce una remobilización progresiva del depósito del lecho, creando una tendencia al meandreamiento entre las barras alternadas.

3.2.6 Clasificación de las barras

Esta clasificación se adoptó de la división más simple de estos depósitos propuestos por Allen y Segura (1989). Así tendremos que las barras pueden ser agrupadas en tres tipos especiales:

3.2.7 Barra longitudinales

Están constituidas, a menudo, por sedimentos bastante gruesos (grava y arenas gruesas a medias). Estas barras presentan generalmente un débil relieve y son más frecuentes hacia la zona situada aguas arriba del río (Figura 3.3) (Allen y Segura, 1989).

3.2.8 Barras transversales

Generalmente las constituyen sedimentos más finos, con predominio de los arenosos y se hayan localizadas más aguas abajo del sistema fluvial. El relieve de estas barras es generalmente más marcados que el de las barras longitudinales (Figura 3.3) (Allen y Segura, op. cit).

3.2.9 Barras acreción lateral

Contrariamente a los dos tipos antes descritos estas barras se hallan soldadas a una margen y crecen lateralmente hacia el canal. Estas barras menos frecuentes que las dos anteriores, son comunes especialmente en la parte aguas abajo del sistema.

Todas estas barras pueden alcanzar dimensiones importantes, del orden de varios kilómetros, son relativamente efímeras en el tiempo, puesto que en una parte

activa de un lecho son modificadas en cada creciente (Figura 3.3) (Allen y Segura, op. cit).

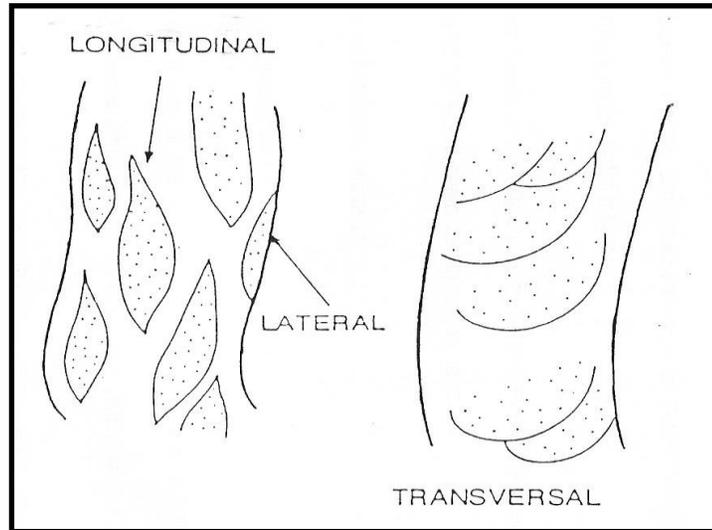


Figura 3.3 Diferentes tipos de barra (Allen y Segura, 1989).

3.2.10 Mecanismos de transporte fluvial de los sedimentos

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

Los sedimentos gruesos son transportados por tracción sobre el fondo, se desplazan manteniendo contacto con el fondo del cauce bien sea por rodamiento, deslizamiento o por saltación. Estos sedimentos se acumulan en las zonas donde las corrientes son más rápidas, en los canales y a veces también sobre las barras, cuando quedan cubiertas en períodos de crecidas. A este conjunto de materiales transportados se les denomina carga de fondo (Figura 3.4) (Allen y Segura, op. cit).

Los sedimentos finos (arenas finas, limos y arcillas) son transportados, en suspensión, es decir mantenidas por elementos ascendentes del flujo en los turbulentos remolinos de la corriente, superponiéndose verticalmente (agradación). Esta fracción de materia que se sitúa en el toque de las barras y sobre las orillas (depósito de desbordamiento), se les denomina cargas en suspensión (Figura 3.4) (Allen y Segura, op. cit).

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

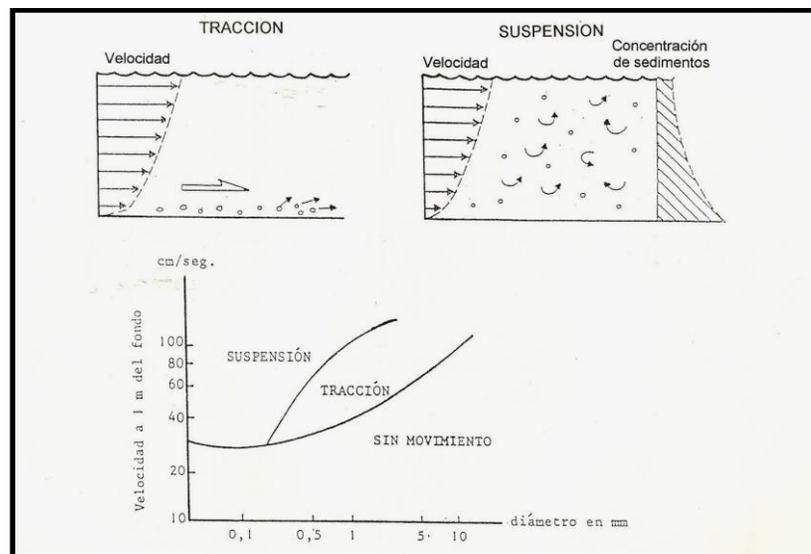


Figura 3.4 Mecanismo de transporte (arriba), tipo de transporte en función de la granulometría (Miall, A. 1978).

3.2.11 Tipo de régimen

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

- a. Laminar.
- b. Turbulento.

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

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

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

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

Dónde:

R = Número de Reynolds

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

r = Radio hidráulico del canal

u = viscosidad cinemática (pie/s).

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

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

3.2.12 Régimen de corriente

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

3.2.13 Corriente central

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

3.2.14 Corriente lateral

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

3.2.15 Corriente intermedia

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

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

3.2.16 Movimiento de los sedimentos

Los sedimentos pueden movilizarse en un ambiente fluvial siguiendo tres patrones: carga de lecho movida por tracción, carga de lecho movida por saltación y carga suspendida. Sin embargo, para que el movimiento del sedimento se concrete debe producirse antes el movimiento incipiente de las partículas que puede ser estimado utilizando modelos empíricos como los de Hjulstrum, Van Rijn, Shields o Visher.

3.2.17 Modelo de Hjulstrum (1935)

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

El diagrama de Hjulstrom, relaciona diferentes granulometrías de sedimentos con una velocidad de corriente de agua a las cuales son erosionadas, transportadas y sedimentadas (Figura 3.5) (Allen, J. 1965).

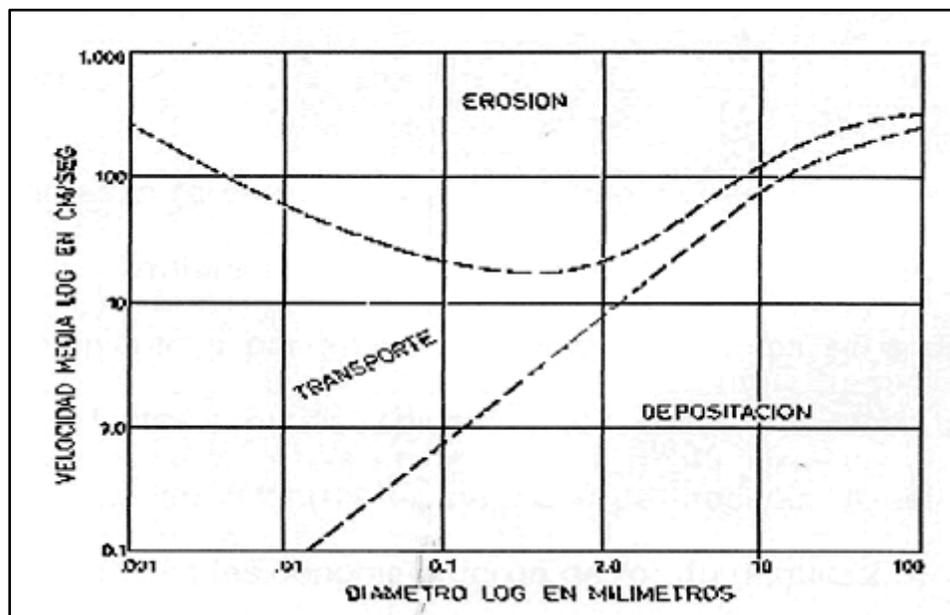


Figura 3.5 Diagrama de Hjulstrum (1935). (Allen, J. 1965).

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

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

Consecuentemente a velocidades de corrientes va disminuyendo o el diámetro de materiales en transporte o depositados va siendo menor. Este fenómeno designa por selección granulométrica esta bien evidenciada en la Figura 3.6 (Reineck y Sing 1990).

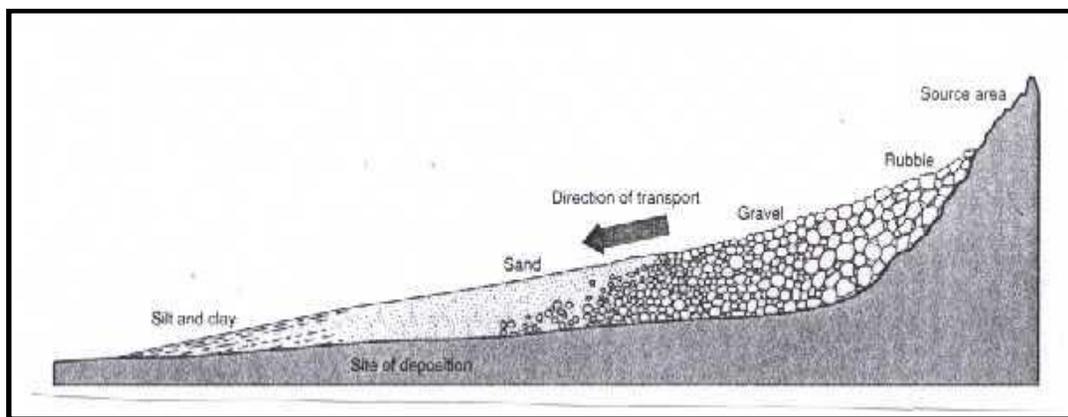


Figura 3.6 Perfil longitudinal de un río, evidenciando una selección granulométrica (Reineck y Sing, 1990).

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

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

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

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

Las cargas eléctricas de la superficie de las partículas provocan una atracción entre ellas, dando origen a una masa cohesiva que resiste la erosión. Algunas dimensiones, densidades y formas de los sedimentos también determinan el tipo de transporte efectuado. Una carga sólida transportada por un curso de agua puede ser así mismo subdividida en carga de fondo, carga de suspensión y carga de saltación. Una carga de fondo constituye sedimentos gruesos y densos que son transportados sobre o próximos al lecho del río e influye el transporte por tracción y saltación. Un transporte por tracción sobre el fondo del lecho puede ser subdividida en dos tipo: rodamiento y arrastre causando una forma de sedimento, redondeada o laminar respectivamente. Una carga de suspensión constituida por sedimentos como las arcillas, que son suficientemente pequeñas para permanecer en suspensión indefinidamente por turbulencia de agua. Una apariencia lodosa de un curso de agua durante una intensa precipitación, por ejemplo: una elevada cantidad de carga en suspensión (Silva y Alcalá, 2005).

Una saltación es un tipo de transporte que se desarrolla generalmente de sedimentos arenosos y se caracteriza por una serie de saltos sobre el lecho del río. Constituye así mismo, un transporte intermedio entre tracción y suspensión. (Figura 3.7).

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

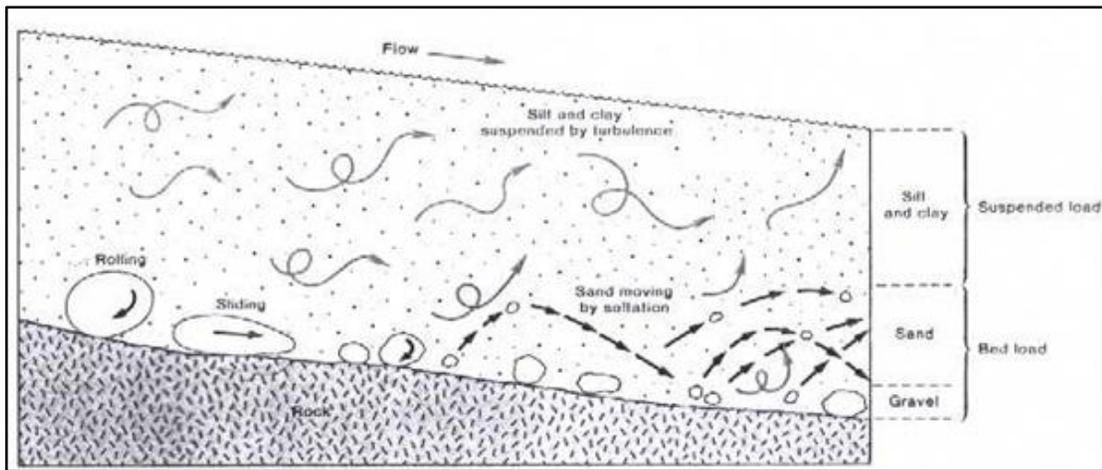


Figura 3.7 Tipos de transporte de los sedimentos de un río (Reineck y Sing, 1990).

3.2.18 Método de Visher

Estas curvas de frecuencia acumulativa, deben ser derivadas de los análisis de laboratorio en cuanto a ensayos para la determinación de la distribución granulométrica de las muestras de sedimentos analizadas; según las normas de calidad y especificaciones. En la Figura 3.8 se muestra la forma de las curvas de frecuencia acumulativa en estos flujos.

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

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

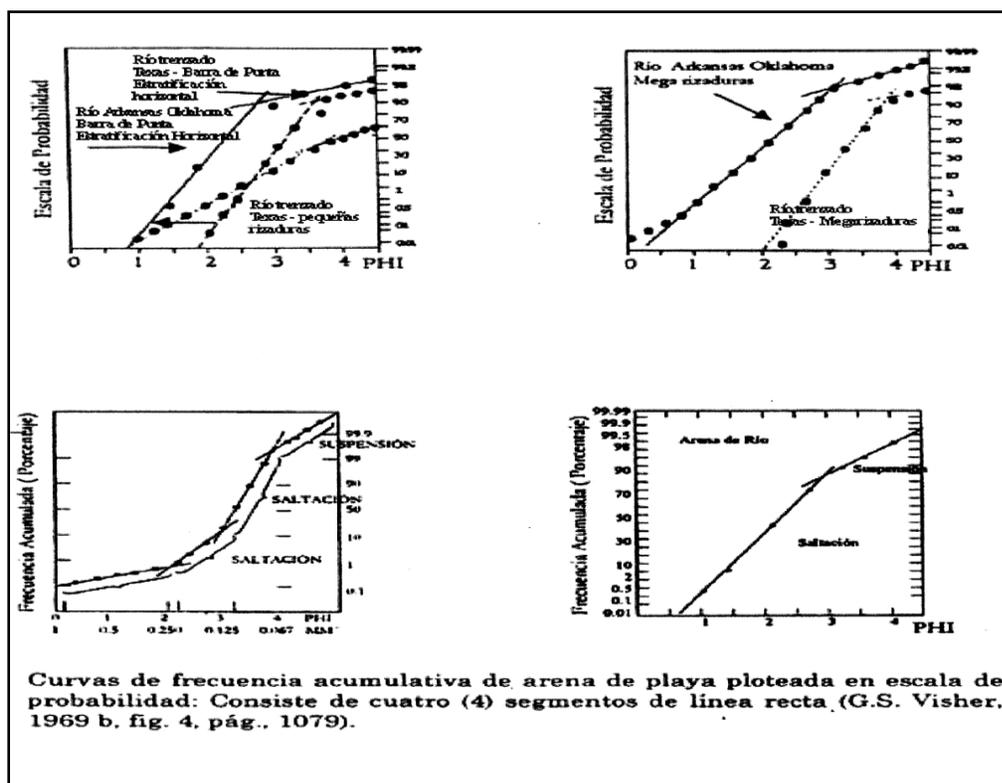


Figura 3.8 Curvas de la distribución de tamaño de grano (Modificado de Visher, 1969).

3.3 Definición de términos teóricos básicos

3.3.1 Barras

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

3.3.2 Los sedimentos gruesos (arenas y gravas)

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

3.3.3 Los sedimentos finos (arenas finas, limos y arcillas)

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

3.3.4 Carga de fondo

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

3.3.5 Carga en suspensión

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

3.3.6 El número de Froude

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

3.3.7 Patrón de drenaje

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

3.3.8 Caudal

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

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

Dónde:

Q= Caudal

A= Área de la sección (Chow, 1994).

3.3.9 Saltación

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

3.3.10 Suelo

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

3.3.11 Estructuras

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

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

Para el desarrollo de esta investigación se realizará una descripción y análisis de los parámetros que permitirán conocer el comportamiento de los procesos que controlan el movimiento de los sedimentos de la zona, para de esta manera, una vez obtenidos los resultados describir la forma se desplazarán integralmente los sedimentos en el sector Los Castillos del río Orinoco.

En ese sentido, Arias, F. (1996), dentro de su clasificación, este tipo de investigación estaría basada en estudios analíticos, ya que se describirán los hechos tal cual se observan en campo y se buscará el por qué de la ocurrencia o no de los mismos, estableciendo las relaciones de causa- efecto.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño o estrategia de investigación será de campo y documental, según Arias, F. (1996). Se dice que es de campo ya que la misma consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna. Específicamente en esta investigación se tomarán muestras de suelos del lecho del cauce en el sector en estudio.

Por otra parte, se dice que la investigación será documental ya que se revisarán, analizarán y procesarán los datos de los registros de las campañas de aforos realizadas en el sector Los Castillos del río Orinoco.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

Según Arias, F. (1996), la población o universo se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación.

En el presente caso se consideró como población de la investigación a todo el cuerpo de agua que transita por el sector Los Castillos y a todos los materiales que constituyen las formas del lecho del cauce.

4.3.2 Muestra de la investigación

Está constituida por tres (3) ejemplares o muestras de suelo tomadas en el lecho del cauce del río Orinoco en el sector Los Castillos. Las muestras se toman separadas aproximadamente equidistantes en el centro del lecho del cauce considerando un criterio de muestreo intencional u opinático, debido a la homogeneidad de los materiales del lecho, es decir que existe la misma posibilidad de tomar cualquier porción durante la extracción de las mismas.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

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

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

4.4.1 Observación directa

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

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

4.4.2 Revisión literaria

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

4.4.3 Entrevistas no estructuradas

La realización de entrevistas es una técnica de recolección muy significativa, a través de ésta se obtendrá información valiosa y de interés, permitiendo aclarar las dudas existentes sobre el tema en estudio. Tal como lo expresa Sabino, (1992): “de un modo general una entrevista no estructurada, es aquella en la que no existe una

estandarización formal, habiendo por lo tanto un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas”.

Éstas serán realizadas a habitantes del sector en estudio, a profesionales calificados, específicamente ingenieros civiles, ingenieros geólogos y cualquier otra persona que pueda brindar algún tipo de asesoría en cuanto a la evolución morfológica del lecho del área de estudio.

4.5 Flujograma de la investigación

Para la realización de esta investigación se seguirá el flujograma (Figura 4.1):

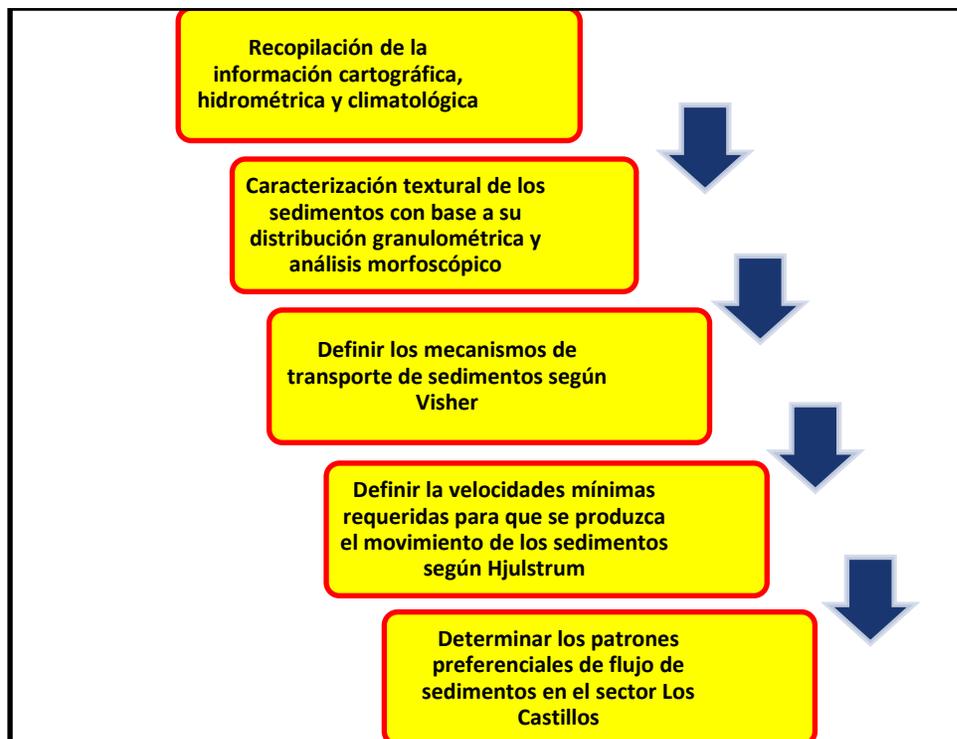


Figura 4.1 Flujograma de la investigación.

4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

Con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados se procederá a continuación a dar una explicación breve de las actividades que habrán de cumplirse a tal fin:

4.6.1 Caracterización textural de los materiales del cauce presentes en el área de estudio del río Orinoco

El muestreo de sedimentos se ejecutó con un equipo muestreador manual prismático integrador, apoyados con una embarcación tipo curiara alquilada en el puerto de San Félix. Esta actividad fue posicionada horizontalmente con la ayuda del GPS, y para el posicionamiento vertical se utilizó un escandallo con pesa de lastre, 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 iza el equipo con las muestras. Las muestras extraídas se colocan en bolsas plásticas identificadas adecuadamente.

A las tres (3) muestras de sedimentos del lecho del cauce, se les realizará análisis granulométrico y análisis de forma de las partículas.

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. Este ensayo se llevó a cabo por el método mecánico, que consiste en medir que cantidad de suelo pasa a través de un conjunto de tamices cuyas mayas poseen diámetro ligeramente menores entre ellos.

El tamaño del grano se determinó tamizando 500 gr aproximadamente de la muestra a través de los tamices preseleccionados.

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 en cada área de estudio mediante el uso del Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos.

También se efectuará el análisis de forma de las partículas: tiene como objetivo fundamental determinar el grado de madurez de los sedimentos; ya que por medio del mismo se puede deducir el transporte que sufrido la partícula, pudiendo presentar formas angulares, sub-angulares, redondeadas y subredondeadas. Este ensayo se realizó de la siguiente manera:

Se debe realizar un cuarteo de la muestra, y se toma una porción representativa de 400 gr aproximadamente.

Se tamiza la muestra.

Se toma la fracción retenida en el tamiz N° 40.

Se lava la fracción seleccionada y luego es secada al horno.

Cada fracción de arena es observada con la ayuda del microscopio, para ello seleccionamos al azar una porción estimada, que de acuerdo al criterio del observador se clasifica como angulosos, sub-angulosos, redondeadas o subredondeadas, según la clasificación de Pettijohn, F. (1980).

Se construye el histograma de forma, con los cuales se infiere sobre la madurez del sedimento.

4.6.2 Descripción de los mecanismos de transporte

En este sentido se utilizará los criterios de Visher con base a las características granulométricas de las muestras tomadas.

4.6.3 Definición de los límites de velocidad de corriente para que se pongan en movimiento las partículas

Utilizando el modelo de Hjulstrum que amerita conocer el d_{50} de las partículas se puede determinar las velocidades de corriente requeridas para que se realice el esfuerzo cortante necesario y se logre despegar la partícula del lecho y ponerla en movimiento.

Asimismo se puede determinar la velocidad mínima por debajo de la cual las partículas se sedimentarán. O por el contrario la velocidad requerida para que permanezcan en movimiento.

4.6.4 Describir los patrones preferenciales de flujo de sedimentos

La observación de los patrones preferenciales de flujo se lograrán mediante el modelaje de las corrientes de caudales líquidos y sólidos utilizando el programa SMS.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Correlación de los parámetros hidráulicos de la corriente

Se utilizaron los datos de los niveles del río, velocidades y caudales para realizar estimación de cualquiera de estas variables con solo conocer una de ellas.

Para el sector Los Castillos se tomaron los datos de aforo en la sección San Roque ubicado en la progresiva fluvial milla 166,8. Esta correlación se muestra en la Figura 5.1

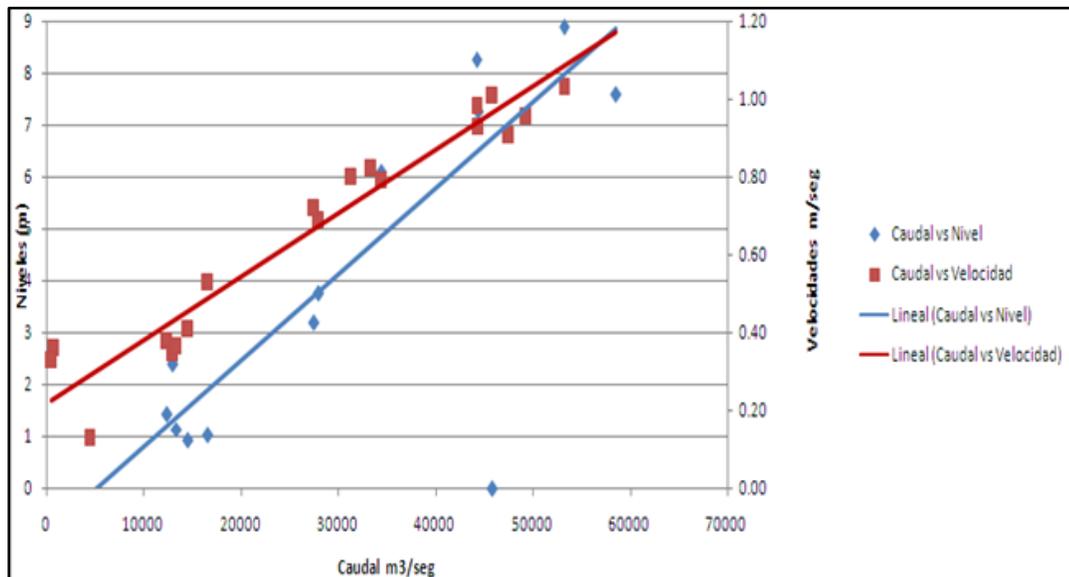


Figura 5.1 Correlación de los caudales, niveles y velocidades en la sección de aforo San Roque (milla 166.8).

5.2 Descripción textural de los sedimentos del lecho del cauce

Utilizando los datos geotécnicos suministrados en el estudio realizado por Marin, L. (2002), en los sectores Aramaya y Los Castillos. Cabe destacar que debido a la proximidad entre estos dos sectores (0.5 millas náuticas), existe una similitud entre los sedimentos del lecho del cauce de los mismos.

En la Figura 5.2 se muestra la ubicación aproximada de los puntos de muestreo de sedimentos del lecho del cauce tomados en el sector Los Castillos.

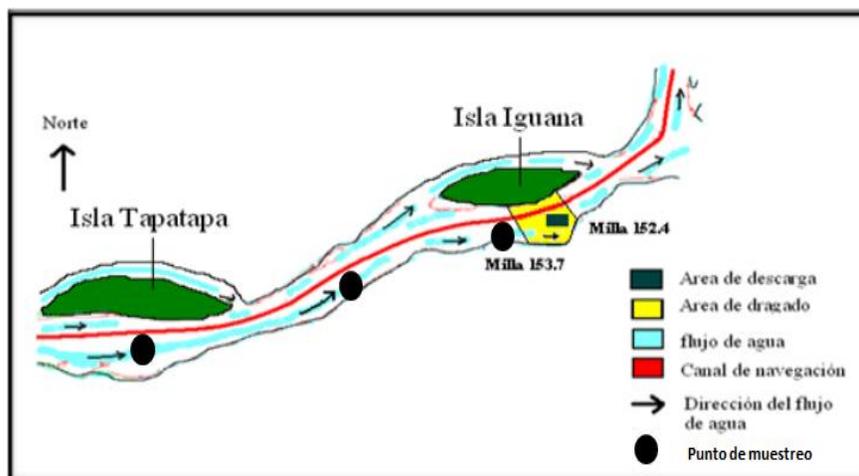


Figura 5.2 Puntos de muestreo en el sector Los Castillos.

5.2.1 Clasificación granulométrica de los materiales del lecho

El ensayo granulométrico realizado para las tres (3) muestras tomadas en los sectores en estudio (Figuras 5.3, 5.4 y 5.5) indica que se está en presencia de un suelo pobremente gradado SP según el Sistema de Clasificación Unificada de suelos. Arenas con porcentaje menor al 5% de material pasante por el tamiz 200 y con valores de Coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura que las identifican como tal.

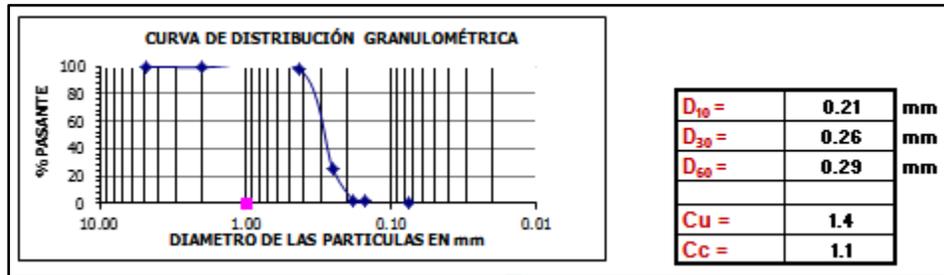


Figura 5.3 Curva de distribución granulométrica de la muestra 1.

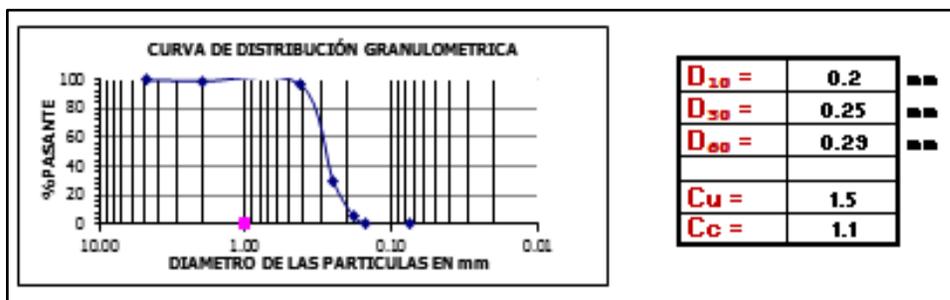


Figura 5.4 Curva de distribución granulométrica de la muestra 2.

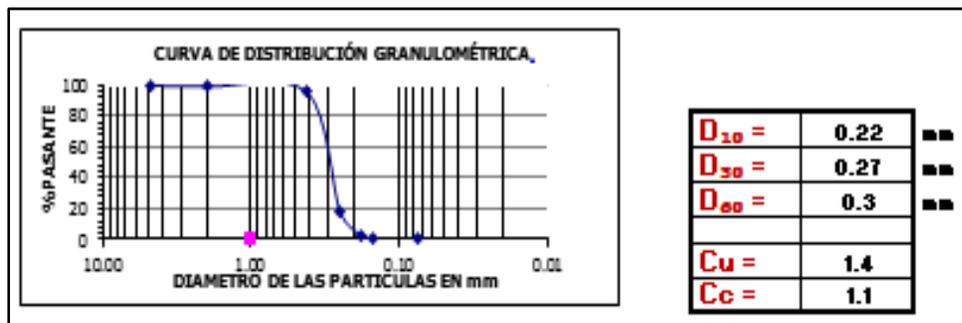


Figura 5.5 Curva de distribución granulométrica de la muestra 3.

5.2.2 Forma de las partículas del lecho

En cuanto al análisis de forma de las muestras extraídas del lecho del cauce del río Orinoco en el sector Los Castillos; se podría decir que éstas arrojaron resultados variables con respecto a las formas de las partículas que lo constituyen, las cuales se presentan en forma predominante desde subangular a subredondeados (Figura 5.6), lo que permite inferir que las partículas han sufrido transporte moderado.

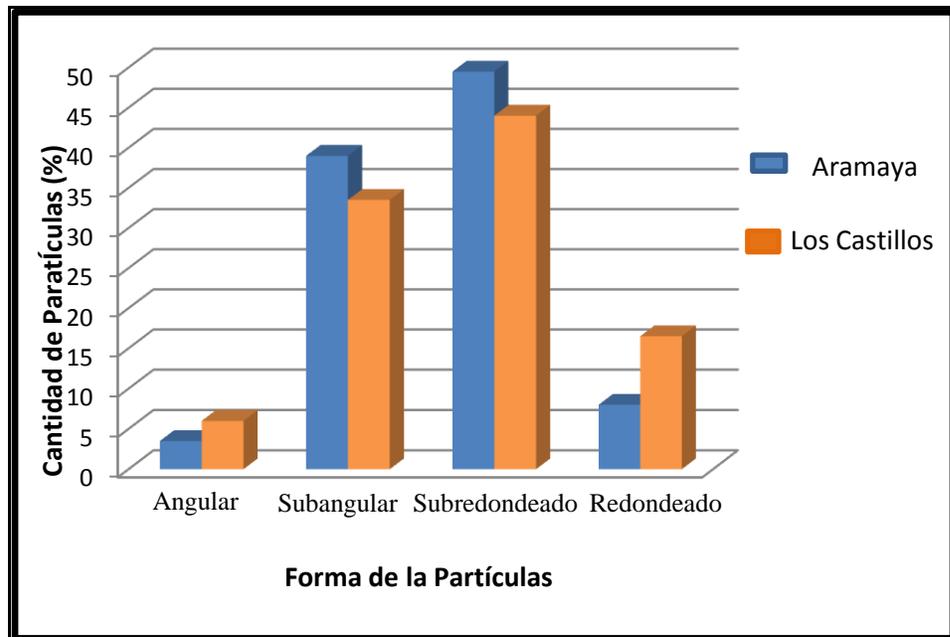


Figura 5.6 Análisis de forma de las parte las partículas.

5.3 Velocidades de corriente límites para el movimiento

Se realizará esta estimación mediante la aplicación del modelo de Hjulstrum, el cual requiere el diámetro medio (d_{50}) de los sedimentos, que para el caso en análisis del sector Los Castillos se ha estimado entre 0.27 mm y 0.29 mm lo cual permite estimar velocidades de corriente para mantener el movimiento de las partículas entre 20 cm/s y 55 cm/s lo cual se puede observar en la Figura 5.7 siguiendo la línea de trazo segmentado.

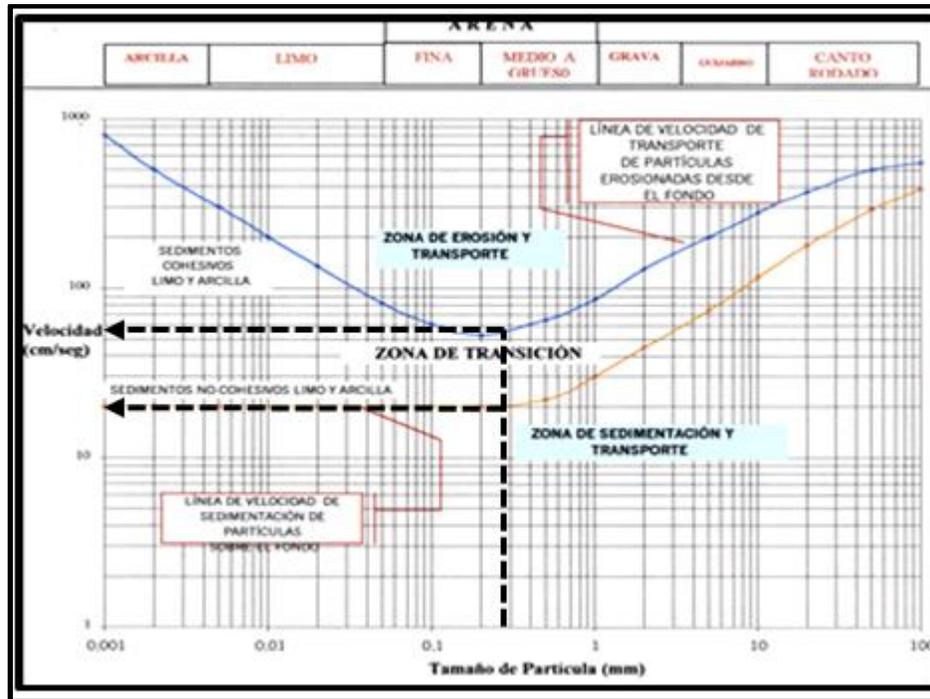


Figura 5.7 Modelo de Hjulstrum aplicado

Obteniéndose los siguientes resultados de velocidades límites para que se produzcan los procesos de sedimentación, transporte o erosión de los sedimentos, según se presenta a continuación en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Velocidades límites para que se produzcan los estados de movimiento de los sedimentos.

Muestras	Velocidad para Sedimentación (cm/s)	Velocidad para Transporte (cm/s)	Velocidad para Erosión (cm/s)
1	≤ 21	$21 \leq x \leq 56$	≥ 56
2	≤ 20	$20 \leq x \leq 55$	≥ 55
3	≤ 20	$20 \leq x \leq 55$	≥ 55

5.4 Mecanismos de transporte de sedimentos

Una vez construidas las curvas granulométricas basadas en el porcentaje retenido acumulado y trazadas las tangentes a las curvas (Figuras 5.8, 5.9 y 5.10), se determinan las fracciones de los sedimentos de acuerdo al tipo movimiento mediante el cual se transportan las partículas (tracción, saltación y suspensión).

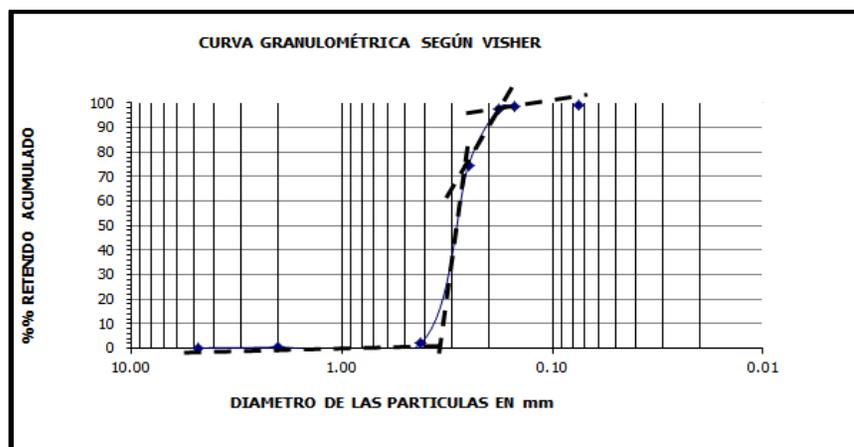


Figura 5.8 Curva granulométrica según Visher para la muestra 1

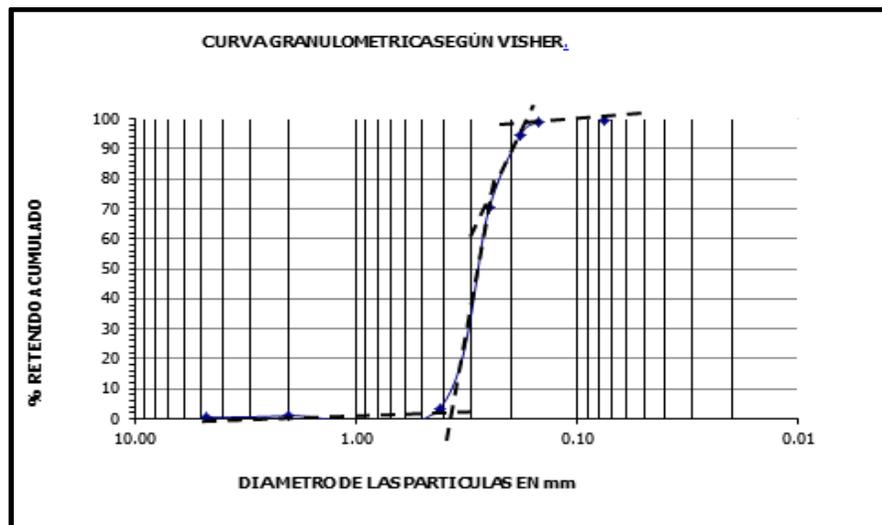


Figura 5.9 Curva granulométrica según Visher para la muestra 2.

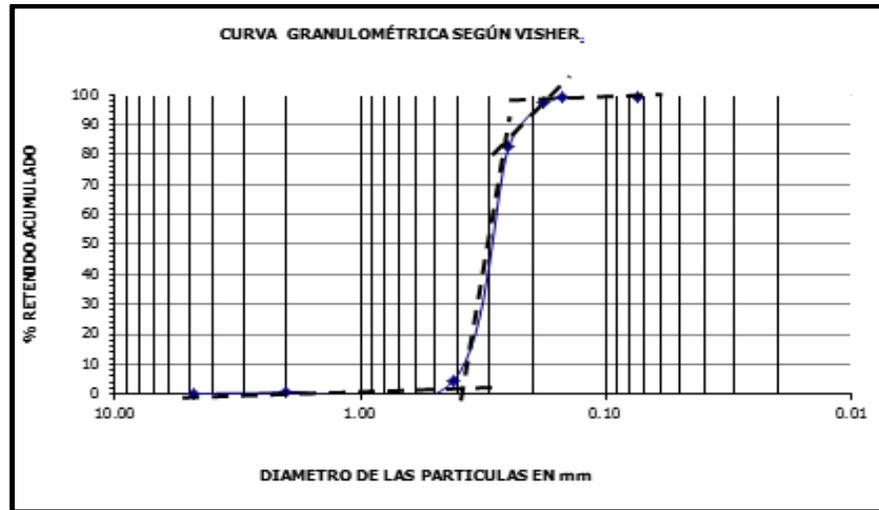


Figura 5.10 Curva granulométrica según Visher para la muestra 3.

En ese sentido, se puede observar en la Tabla 5.2 las distintas fracciones de los sedimentos según la modalidad de movimiento mediante el cual se transportan.

Asimismo se puede notar que el mecanismo predominante de transporte ocurre por saltación en un 97%, mientras que las partículas movilizadas por tracción o suspensión oscilan entre el 1% y 2%.

Tabla 5.2 Fracción porcentual que se moviliza de acuerdo al mecanismo de transporte según Visher.

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

5.5 Patrones preferenciales de flujo de sedimentos

Mediante el uso del programa SMS se realizó un modelamiento del flujo de los caudales sólidos y líquidos que se movilizan en el sector Los Castillos.

Para la conformación del modelo de flujo de sedimentos fue necesario la elaboración de seis (6) secciones transversales al cauce (Apéndice A.1 al A.6) espaciadas cada 200 m en el tramo de estudio y construidas a partir del plano N°OODB4839, con fecha de 03 de julio de 1998; dichas secciones servirían de base geométrica del tramo del canal a modelar.

Una vez definida la configuración geométrica del cauce se le suministra al programa las características texturales de los sedimentos y las condiciones de flujo a modelar.

Una vez efectuada la simulación, en dicho modelo se observa que las líneas de flujo mantienen un comportamiento casi paralelo a la configuración de las riberas a todo lo largo del sector. Este comportamiento se observó para las condiciones imperantes para el período de aguas altas del río Orinoco.

También se puede notar que existen zonas de bajas velocidades de flujo al sur de la isla Tapatapa y al sur de la isla Iguana, ubicándose allí estas zonas de remanso o depositación de materiales adyacentes a la ribera derecha descendente.

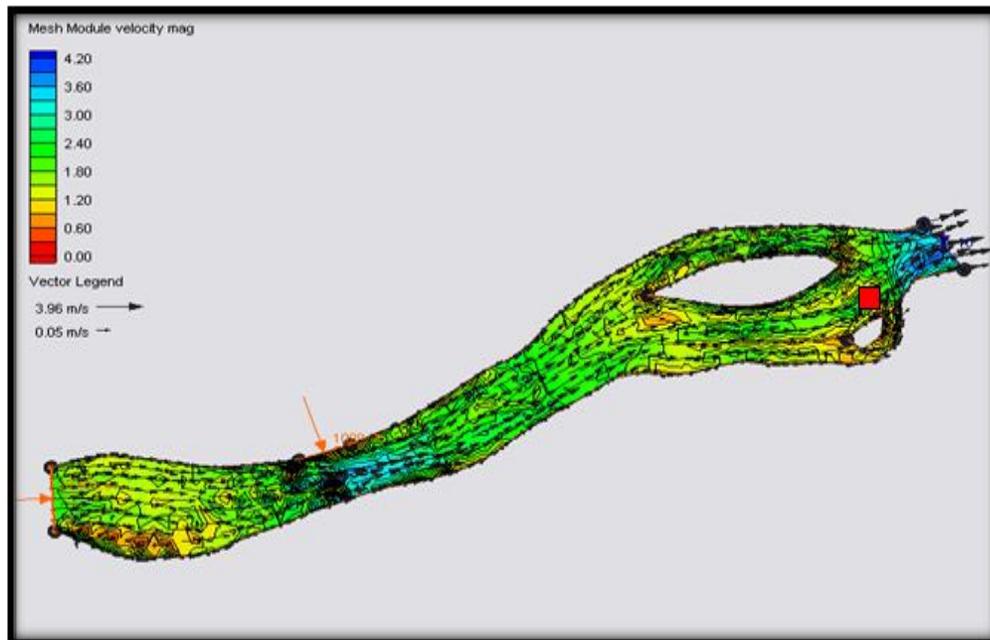


Figura 5.11 Modelo de patrones de flujo de sedimentos y magnitud de velocidades de corriente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El comportamiento hidrológico del río Orinoco ha manifestado un rendimiento líquido presentando, en la milla 166.8 del sector Los Castillos un caudal que varía entre 6709,40 m³/s hasta 58503,21 m³/s presentando velocidades de corriente de hasta 1.25 m/s durante el período de aguas altas.
2. Según el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos, los suelos muestreados en el sector Los Castillos y posteriormente analizados en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Oriente resultaron ser arenas mal gradadas (SP). Por otra parte, las formas predominantes en relación con la geometría de los granos son subangular y subredondeado.
3. La aplicación del modelo de Hjulstrum permite concluir que los materiales del lecho presentes en el sector Caicara requieren velocidades del flujo en el rango de 20 cm/s a 55 cm/s para mantenerse en régimen de transporte.
4. El modelo de Visher parece indicar que la modalidad predominante para transporte de los sedimentos es la de saltación y en proporción mínima las de suspensión y de tracción. Tal circunstancia se concluye a que los materiales son arenas mal gradadas
5. Por medio de la solución hidrodinámica generada por el programa SMS se pudo observar que los patrones preferenciales de flujo de sedimentos siguen trayectorias subparalelas a ambas riberas del cauce. Asimismo, se observó al sur de la isla Tapatapa y al sur de la isla Iguana (adyacente a la ribera derecha

descendente del cauce) la presencia de dos zonas de bajas velocidades de corrientes donde se presume que podrían ocurrir procesos de depositación de sedimentos.

Recomendaciones

1. Analizar el flujo mineralógico en relación a las magnitudes y direcciones preferenciales de la corriente.
2. Validar el uso de otros modelos empíricos existentes para la predicción de flujo de sedimentos de tal forma que se puedan ajustar y calibrar para el caso del río Orinoco en ese sector.
3. Evaluar el comportamiento del flujo de sedimentos con diferentes condiciones de caudales y con información de levantamientos batimétricos para diferentes épocas del ciclo hidrológico del río.

REFERENCIAS

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

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

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

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

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

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

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

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

Arias, F. (1996). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA**. (5° Edición). Episteme, Caracas, Venezuela.

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

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

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

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

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

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

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

Chow, Ven té (1994). **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS.** Mc Graw-Hill, Santa Fe, Bogotá, Colombia. 1ª Edición. pp. 10, 109.

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

Consultora Ingeniería Caura, (1994). **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL DRAGADO DE MANTENIMIENTO DEL RÍO ORINOCO.** Puerto Ordaz.

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

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

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

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

Echeverría, D. y Medina, R. (1992). **ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DEL SECTOR LOS CASTILLOS**. Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Marín, L. (2002). **ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DEL SECTOR ARAMAYA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.** Trabajo de Grado, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.

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

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

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

Mendoza, V., (2000). **ESTUDIO GEOTECNOLÓGICO DE CIUDAD GUAYANA.** C.V.G, Puerto Ordaz.

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

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

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

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

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

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

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

Reineck, H. y Sing, I. (1990). **DEPOSITIONAL SEDIMENTARY ENVIRONMENTS.**Berlin Springer – Verlag. Pp 185 – 201.Pp 439.

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

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

Rodríguez, J. (2012). **DETERMINACIÓN DE LOS MECANISMOS DE TRANSPORTE DE LA PARTE ESTE DE LA ISLA FAJARDO MUNICIPIO CARONÍ, RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR.** Trabajo de Grado no Publicado de la Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar.

Sabino, C. (1992). **EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.** Editorial Panapo. Caracas. 134-145

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

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

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

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

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

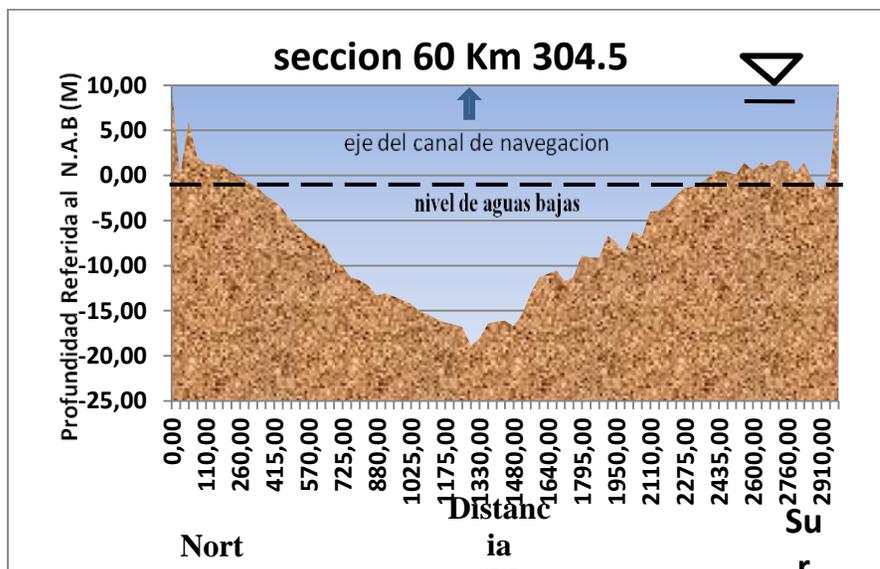
Tamayo y Tamayo, M. (2004). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.** 4ta edición, 3era reimpresión. Editorial Limusa. México, pp 64-82.

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

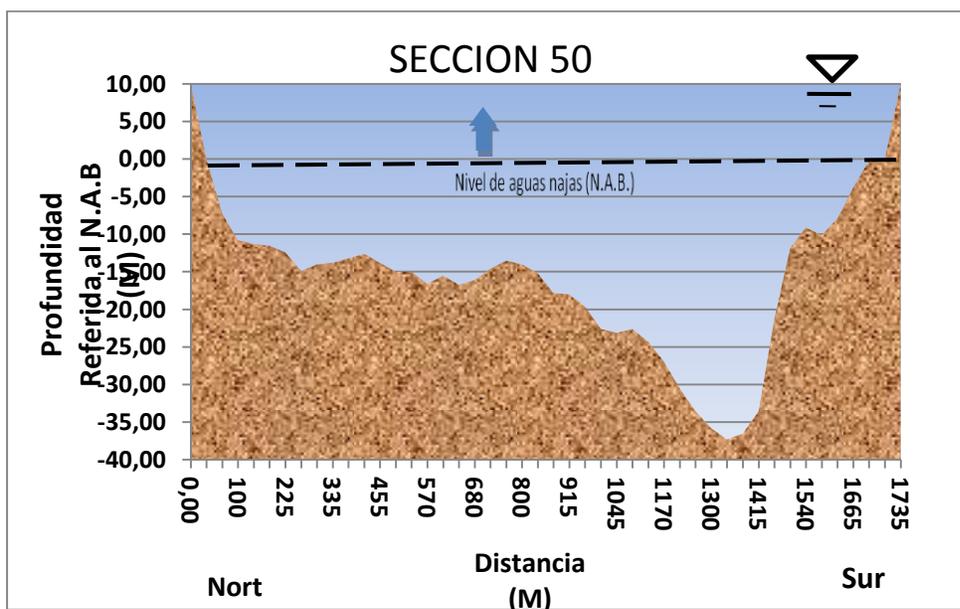
Visher, G. (1969). **GRAIN SIZE DISTRIBUTIONS AND DEPOSITIONAL PROCESSES**. Vol. 3 Pp 1074 – 1106.

APÉNDICES

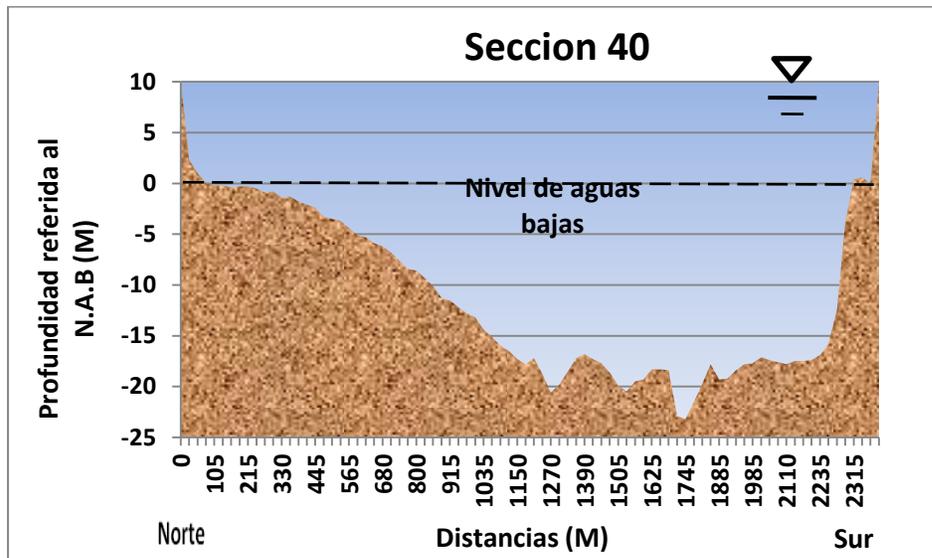
APÉNDICE A
SECCIONES TRANSVERSALES DEL CAUCE



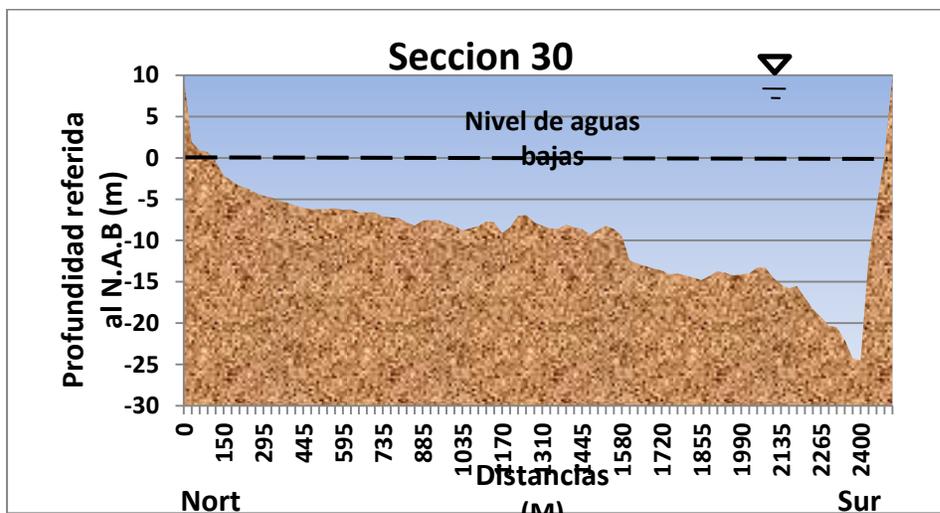
A.1 Sección transversal N° 60 ubicada en el sector Los Castillos (Plano N°OODB4873, con fecha de 28 de agosto de 1998).



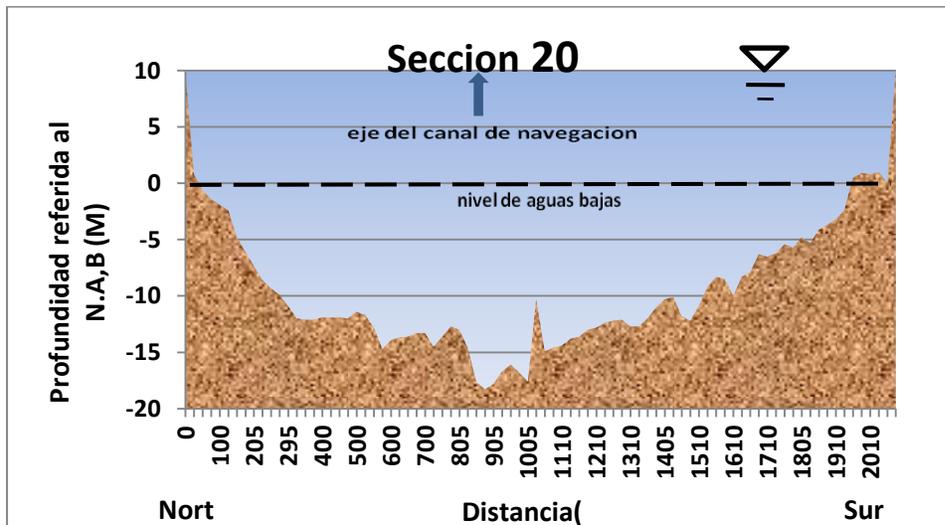
A.2 Sección transversal N°50 ubicada en el sector Los Castillos (Plano N°OODB4844, con fecha de 08 de agosto de 1998).



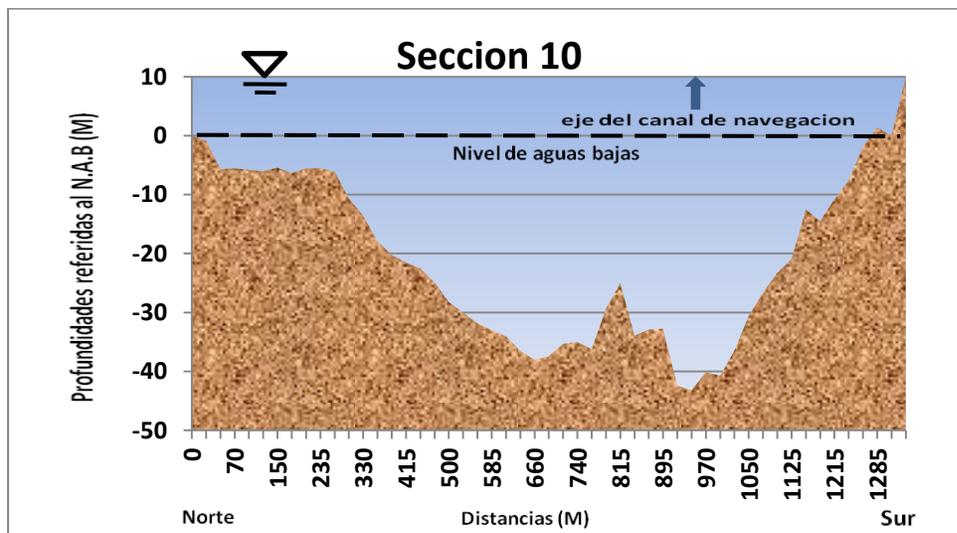
A.3 Sección transversal N°40 ubicada en el sector Los Castillos (Plano N°OODB4843, con fecha de 06 de julio de 1998).



A.4 Sección transversal N°30 ubicada en el sector Los Castillos (Plano N°OODB4841, con fecha de 05 de julio de 1998).



A.5 Sección transversal N°20 ubicada en el sector Los Castillos (Plano N°OODB4840, con fecha de 04 de julio de 1998).



A.6 Sección transversal N°10 ubicada en el sector Los Castillos (Plano N°OODB4839, con fecha de 03 de julio de 1998).

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

Título	ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS EN EL SECTOR LOS CASTILLOS, DEL RIO ORINOCO. EDO. MONAGAS, VENEZUELA.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
SANABRIA PEREZ JHONATAN PAUL	CVLAC	19.729.395
	e-mail	Jhonatansanabria91@gmail.com
	e-mail	
COVA CAÑA JUANNYS MARISEL	CVLAC	20.259.151
	e-mail	juannyscova@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Parámetros climáticos
Parámetros hidráulicos
Sedimentos presentes en el cauce
Geomorfología del cauce
Cualificar los movimientos de sedimentos

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Sedimentología	Análisis de los tipos de movimientos de sedimentos.
Hidráulica	Caracterización climatológica

Resumen (abstract):

El objetivo fundamental del presente trabajo de grado consiste en analizar el movimiento de sedimentos que se produce en el lecho del cauce del sector Los Castillos, ubicado entre las progresivas fluviales: millas 150 y 165 del canal de navegación del río Orinoco, en el estado Monagas. La estrategia adoptada para dar respuesta al problema planteado fue documental y de campo. Para la realización de la presente investigación se describió el comportamiento de las corrientes con base a la correlación de los niveles del río, velocidades y caudales con base a los datos que les suministro el INC. Se tomaron muestras de suelo y se describieron texturalmente los materiales del lecho del cauce mediante el análisis granulométrico y el análisis morfométrico de las partículas. Posteriormente, se construyeron las secciones transversales, con información proveniente de levantamientos batimétricos costa a costa. Se utilizó el programa de simulación hidrodinámica SMS para analizar el movimiento de los sedimentos a lo largo del sector. Como resultados relevantes se determinó que los materiales del cauce se corresponden con arenas mal gradadas. Hidráulicamente los niveles del agua varían de acuerdo al ciclo hidrológico de la región es decir ascendiendo en la época de lluvias y descendiendo en la época de sequía. La elaboración de las secciones transversales y del modelo de flujo de sedimentos del cauce permitieron observar que las mayores profundidades se corresponden con el tramo medio del sector en su parte sur, paralela a la concavidad de la ribera. La aplicación del modelo hidrodinámico SMS permitió detectar que los sedimentos se movilizan siguiendo trayectorias subparalelas a la ribera sur del sector en estudio. Finalmente utilizando el modelo de Visher permitió determinar que los materiales del cauce se mueven siguiendo la distribución; por saltación (97 %), por suspensión (1 a 2 %) y por tracción (1 a 2 %).

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
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	
Gámez, Zulimar	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	zulimargamez@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
2017	12	07

Lenguaje Spa

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

Archivo(s):

Nombre de archivo
ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS EN EL SECTOR LOS CASTILLOS, DEL RIO ORINOCO. EDO. MONAGAS, 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:

Geología

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Pregrado

Área de Estudio:

Geología

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

Universidad de Oriente

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

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

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

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

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CURVELO
Secretario



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

JABC/YGC/maruja

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
Jhonatan Sanabria
C.I.:19.729.395

AUTOR
Juannys Cova
C.I.:20.259.151

TUTOR
Profesor Dafnis Echeverría
C.I.:4.506.408