

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



**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES
HIDRODINÁMICAS Y MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS EN EL
SECTOR PUNTA CUCHILLO DEL RÍO ORINOCO AGUAS
ABAJO DEL PUENTE ORINOKIA, MUNICIPIO CARONÍ,
ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR LOS BACHILLERES
AQUINO P., GUSTAVO J. Y
OCHOA T., AUGLIMAR S.
PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, JUNIO DE 2024



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

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: “**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDRODINÁMICAS Y MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS EN EL SECTOR PUNTA CUCHILLO DEL RÍO ORINOCO AGUAS ABAJO DEL PUENTE ORINOKIA, MUNICIPIO CARONÍ, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**”, presentado por los bachilleres, **AQUINO PALACIO, GUSTAVO JOSÉ** de cédula de identidad No **27.596.438**; y **OCHOA TORRES, AUGLIMAR STEPHANIE** de cédula de identidad No 27.596.416 como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

Nombre y apellido:

Firma:

Prof. Dafnis Echeverría D.

(Asesor)

Prof. Karla Padilla

(Jurado)

Prof. Beatriz Echeverría.

(Jurado)

Prof. Francisco Monteverde
Jefe de Dpto. de Ingeniería Geológica.
En Ciudad Bolívar, a los

Prof. Francisco Monteverde
Director Escuela de Ciencias de la Tierra
días del mes de Junio de 2024

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado y toda mi carrera universitaria principalmente a mis padres: Lucymar Palacio y Gustavo Aquino quienes me han apoyado constantemente en toda mi vida, gracias por los buenos consejos y el amor que me dieron, por esta carrera que es la mejor herencia que me dejan para mi futuro, porque creyeron en mi y hoy esto también es de ustedes los amo son unos padres admirables me siento orgulloso de tenerlos.

A mi hermana Valentina por ser parte de este recorrido, por apoyarme en los momentos importantes y significativos de mi vida también por la paciencia que me tuvo en mis momentos difíciles.

Con cariño también lo dedico a mi abuela a la que quiero con todo mi corazón y que ha sido parte de mi vida y me ha enseñado cosas importantes para mi crecimiento personal, a mis tias, tios y primos en especial a Mariangel por su apoyo incondicional y cariño.

A Marilu, Marcelo y Javier Salinas, por su constante apoyo y comprensión, por su cariño y sobre todo su amistad.

A mis compañeros de estudio, por hacer de toda mi carrera universitaria momentos bonitos donde compartimos cosas que no olvidare, los quiero que Dios los bendiga siempre.

Y a mi mascota Apolo por ser mi compañero incondicional en las largas noches de estudio, por su amor y compañía.

Gustavo José Aquino Palacio

DEDICATORIA

Este Trabajo de Grado el cual es un gran impulso para la culminación de mi carrera Universitaria, es dedicado principalmente a Dios que siempre hay que darle infinita gratitud por ser en quien me he convertido hoy día, a mi Madre: Eglida Torres, por tanto apoyo y dedicación, para mi bienestar siempre ha estado junto a mi de tantas lágrimas derramadas pero hoy puedo decir que los obstáculos que se colocan en el camino son para tropezarse y superarlos, como ser humano te agradezco siempre por ser una madre y padre ejemplar, cada esfuerzo y logro es gracias a ti, te amo mami.

También le dedico esto a mi novio: Enmanuel Dos Santos, el cual se propuso a estudiar a mi lado, me llevaba a mis clases, esperaba hasta la hora de salida velando por mi seguridad, gracias por estar siempre y en especial en los tiempos más difíciles, eres único, como tu no conseguiré en ningún lugar mi amor.

A mi tío José Gregorio Torres (espiritualmente) el cual no está físicamente de nuestro lado, pero yo sé que tanto deseabas que uno de nosotros culmináramos una carrera en La casa más Alta del Oriente del País. A mis mascotas Perlita y Akira las cuales se colocan siempre a mi lado cuando estoy estudiando hasta altas horas de la noche.

Auglimar Stephanie Ochoa Torres

AGRADECIMIENTOS

A Dios principalmente por darme la oportunidad de vivir y hacer este momento realidad, por ser mi luz en el camino recorrido, por darme las fuerzas para seguir adelante cada vez que caía, también agradezco a toda mi familia por su apoyo constante por compartir conmigo momentos significativos como lo es este. A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron conmigo para hacer posible este logro.

A la Universidad de Oriente mi hermosa casa de estudio, a los profesores Udistas que hicieron un excelente trabajo, logros como el mío son los frutos que han obtenido.

Especialmente al ingeniero Dafne Echeverria, mi tutor académico por su oportuna disposición en los momentos necesarios en la búsqueda de mis objetivos.

A mí jurado ing. Karla Padilla y ing. Beatriz Echeverria por su apoyo y colaboración en este proyecto y en mis estudios universitarios.

A mi compañera de tesis Auglimar Ochoa por su dedicación, conocimiento y trabajo en equipo que han sido fundamentales para el éxito de este proyecto, estoy agradecido por su apoyo y compromiso.

Gustavo José Aquino Palacio

AGRADECIMIENTOS

Agradecerle a Dios siempre por brindarme las capacidades suficientes para esforzarme y dedicarme para lograr el objetivo

A mi compañero para la realización de este trabajo de Grado el cual es una gran persona y ser humano excelente, Gustavo Aquino, gracias amigo por que juntos logramos un trabajo en equipo excelente. Agradecida siempre por el apoyo de todos para mi ámbito y la vida.

A mis amigas y compañeras de clases que siempre estaremos juntas: Brenda Nacarati, Ana Campos, Amairus Parra, Zulianny Rivas, Ariannys Chacare, Ariannis Medina por qué creamos bonitos recuerdos y únicos, Dios me las bendiga infinitamente, a todas esas amistades que hice en esta hermosa universidad que son muchos la verdad estoy agradecida con cada uno de ustedes

Agradecimientos al tutor para que nuestro proyecto y realización de la defensa para este trabajo el cuál es un excelente profesor e Ingeniero Dafnis Echeverria agradecida con usted profesor, el jurado de este increíble proyecto Ing. Karla Padilla y la Ing. Beatriz Echeverría por su colaboración y aprendizaje para mis estudios

Auglimar Stephanie Ochoa Torres

RESUMEN

El objetivo general de la presente investigación persigue realizar un análisis del movimiento de sedimentos que se produce en el sector Punta Cuchillo del río Orinoco. Tal estudio obedece a la necesidad de disponer de información veraz que ilustre sobre el comportamiento de estos sedimentos durante su tránsito por el mencionado sector. La principal razón de realizar el análisis del movimiento de sedimentos en el sector mencionado consiste en que estos materiales pudieran incrementar la sedimentación del canal de navegación, disminuyendo las profundidades y dificultando el paso de embarcaciones de gran calado a través de ese sector. La zona de estudio está ubicada en el río Orinoco, aproximadamente a 6 millas náuticas al oeste de la población de San Félix, en el estado Bolívar. El trabajo constó de una etapa de recolección de información tal como cartas de navegación y planos batimétricos del sector, datos climatológicos de la zona de estudio, datos de aforos del río, entre otros. Durante la etapa de campo se realizaron todas las labores prácticas de recolección de muestra de sedimentos del lecho del cauce del río y observaciones sobre la geología y geomorfología de las riberas. Durante la etapa de laboratorio se realizaron los ensayos pertinentes a las muestras de suelos, tales como: análisis granulométricos y análisis morfoscópicos de las partículas. Finalmente, en la etapa de oficina se efectuaron las digitalizaciones de los planos batimétricos que fueron incorporados al computador a través del programa AUTOCAD, a través de esto se realizó la construcción de secciones transversales y modelos digitales del lecho. Se identificaron las zonas que muestran evidencias de movimiento de sedimentos. Se analizó la correlación de los datos de niveles del río, de velocidad de la corriente y caudales. Se aplicaron los modelos de Hjulström y Visher para cualificar el movimiento de los sedimentos. Entre los resultados relevantes se pueden citar los siguientes: el tipo de sedimento presente en el área de estudio corresponde, a arenas de medias a finas y de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos corresponde a arenas mal gradadas (SP). De acuerdo al modelo de Hjulström los sedimentos para mantenerse en transporte requerirán velocidades de corriente entre 0.21 m/s y 0.70 m/s y según el criterio del modelo de Visher los sedimentos son movilizados en mayor medida bajo la modalidad de saltación. Finalmente, se pueden interpretar, a partir del perfil longitudinal del cauce (construido a partir del plano batimétrico), la existencia de ondulaciones en el lecho arenoso que pueden ser dunas o rizaduras

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN.....	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE APÉNDICES	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación	9
1.2.1 Objetivo general.....	9
1.2.2 Objetivos específicos	9
1.3 Justificación de la investigación.....	9
1.4 Alcance de la investigación.....	10
1.5 Limitaciones de la investigación	10
CAPÍTULO II. GENERALIDADES	11
2.1 Ubicación y acceso del área de estudio	11
2.2 Geomorfología regional.....	15
2.3 Aspectos geomorfológicos del río Orinoco	15
2.4 Geología regional	16
2.4.1 Provincia Geológica de Imataca.....	17
2.4.2 Formación Mesa.....	18
2.4.3 Depósitos Aluviales	19
2.5 Geología local	20
2.6 Hidrografía del río Orinoco.....	20
2.6.1 Procesos hidrológicos del río Orinoco	22
2.7 Caracterización biótica	23
2.7.1 Fauna	23
2.7.2 Flora	23
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	25
3.1 Antecedentes o estudios previos	25
3.2 Bases teóricas	28
3.2.1 Sedimentos.....	28
3.2.2 Propiedades de los sedimentos	28

3.2.2.2 Forma.....	29
3.2.2.3 Esfericidad	29
3.2.2.4 Redondez	29
3.2.2.5 Fábrica	29
3.2.2.6 Empaque	30
3.2.4 Mecanismos de transporte de sedimentos	35
3.2.5 Distribución de los sedimentos. Granulometría.....	37
3.2.6 Morfoscopía de los sedimentos.....	38
3.2.7 Medición del transporte de sedimentos en las distintas formas del lecho	38
3.2.8 Muestreo de sedimentos	43
3.2.9 Formas del lecho	46
3.3 Bases legales	62
3.4 Definición de términos básicos	63
CAPÍTULO IV. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	66
4.1 Tipo de investigación.....	66
4.2 Diseño de la investigación	67
4.3 Población y muestra de la investigación.....	67
4.3.1 Población de la investigación	67
4.3.2 Muestra de la investigación	68
4.4.1 Técnicas de investigación.....	70
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos	71
4.5 Flujo de la investigación	72
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos	73
4.6.1 Caracterización climática del área de estudio.....	74
4.6.2 Caracterización textural de los materiales del cauce presentes en el área de estudio del río Orinoco.....	74
4.6.3 Descripción de las condiciones del flujo del río con base a los niveles de la superficie del agua y a los caudales.....	74
4.6.4 Caracterización del movimiento de los sedimentos del río	75
4.6.5 Describir la morfología del cauce del río Orinoco en el área de estudio	76
CAPÍTULO V. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	77
5.1 Caracterización climática del área de estudio	77
5.1.1 Precipitación	78
5.1.2 Evaporación	80
5.1.3 Temperatura	81
5.1.4. Insolación.....	83
5.1.5 Humedad Relativa	85
5.2 Características texturales de los sedimentos del lecho	87
Angulosas	90
5.3 Características hidráulicas del flujo del agua.....	91

5.4	Caracterización del movimiento de los sedimentos del río	94
5.4.1	Estado de movilidad con base a los criterios de Hjulström,	94
5.4.2	Modalidad de transporte de los sedimentos según criterio de Visher	95
5.5	Morfología del cauce del río Orinoco en el área de estudio	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		102
	Conclusiones	102
	Recomendaciones.....	103
REFERENCIAS		104
APÉNDICES		112

LISTA DE FIGURAS

Página

2.1	Vías de acceso al área de estudio (Enciclopedia Encarta 2000 y www.puenteorinoco.com).....	10
2.2	Sector de estudio, Playa Colorada- Palo Solo.....	10
2.3	Provincias geológicas de Guayana (Mendoza, 2000).....	17
3.1	Diagrama del modelo de Hjulström.....	24
3.2	Perfil longitudinal de un río, evidenciando una selección granulométrica (Reineck y Sing 1981).....	29
3.3	Tipos de transporte de los sedimentos de un río. (Reineck y Sing 1981).....	31
3.4	Curvas de frecuencia acumulativa de arena de playa representada en escala de probabilidad. Consiste de cuatro (4) segmentos de línea recta (Visher, 1969).....	34
3.5	Modelo de descarga de sedimentos en ríos (FAO, 2017).....	39
3.6	Esquema sugerido para el muestreo de sedimentos con puntos de muestreo a media profundidad del caudal (FAO, 2017).....	41
3.7	Representación de equipo para levantamientos batimétricos.....	42
3.8	Representación de sondeo con: a) ecosonda multifrecuencia y b) con ecosonda monofrecuencia.....	43
3.9	Formas del lecho idealizadas en canales aluviales. (Simons et al., 1966).....	44
3.10	Lecho de ondulación en canal de laboratorio (Yang, 1996).....	45
3.11	Modelo de ondulación típico, pétalo de Rosa (Yang, 1996).....	46
3.12	Sección longitudinal de ondulación de pétalo de rosa (Yang, 1996)....	46
3.13	Vista de tres barras de punto (Yang, 1996).....	47
3.14	Vista aérea de barras alternantes en un alcance directo uniforme (Yang, 1996).....	47
3.15	Dunas gramaticalmente correctas en un canal de laboratorio. (Yang, 1996).....	48
3.16	Configuración de transición en un ensayo de laboratorio. El flujo es hacia el observador (Yang, 1996).....	49
3.17	Vista lateral de antidunas y acompañamiento de ondas en fase de inmóviles en un laboratorio. La dirección de flujo es de izquierda a derecha.(Yang, 1996).....	
3.18	Formas del lecho moviéndose en dirección aguas abajo. (Yang, 1996)	52
3.19	Relación de las forma del lecho con la potencia del río y el diámetro medio de caída de los sedimentos del lecho (Simons y Richardson, 1966 en Yang, 1996).....	53

3.20	Diagrama de clasificación de formas del lecho para corrientes. (Van Rijn, 1984,1989).....	58
4.1	Ubicación de los puntos de muestreo.....	66
4.2	Flujograma de la investigación.....	70
5.1	Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Puerto Ordaz (INAMEH, 2017).....	53
5.2	Promedio mensual de lluvia en Ciudad Guayana (es.weatherspark.com, 2022).....	78
5.3	Variación anual de la evaporación (mm). Estación Puerto Ordaz (INAMEH, 2017).....	79
5.4	Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima (°C) en la Estación Puerto Ordaz R-A (INAMEH, 2017).....	80
5.5	Temperatura máxima y mínima promedio mensual (es.weatherspark.com, 2022).....	81
5.6	Variación anual de la insolación (horas). Estación Puerto Ordaz (INAMEH,2017).....	82
5.7	Horas de luz natural y crepúsculo en Ciudad Guayana (es.weatherspark.com, 2022).....	82
5.8	Variación anual de la humedad relativa (%). Estación Puerto Ordaz. (INAMEH, 2017).....	83
5.9	Niveles promedio de humedad en Ciudad Guayana (es.weatherspark.com, 2022).....	84
5.10	Toma de muestras de fondo en el río Orinoco.....	85
5.11	Curvas granulométricas según Visher para las muestra M1, M2, M3, M4 y M5.....	86
5.12	Hidrogramas de esfericidad y redondez de las partículas de las muestras M1, M2, M3 y M4.....	88
5.13	Equipo utilizado para la descripción de los minerales pesados presentes en las muestras recolectadas en campo.....	89
5.14	Correlación de Velocidad, caudales y niveles del río Orinoco en la estación de aforos en el sector Playa Colorada - Palo Solo.....	92
5.15	Hidrograma de niveles máximos, promedios y mínimas en el sector Playa Colorada Solo referidas al Datum nmm. Período 1980-2013 (Estación Punta Cuchillo).....	92
5.16	Modelo de Hjulström aplicado.....	93
5.17	Curvas granulométricas según Visher para las muestras (numeradas de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo) M1, M2, M3, M4 Y M5.....	95
5.18	Sección longitudinal y modelo digital del lecho del tramo entre las millas 190.0 y 188.0 en el sector Playa Colorada-Palo Solo (referencia plano ODB.5370, mayo 2016).....	98

LISTA DE TABLAS

		Página
2.1	Especies de peces más comunes en el río Orinoco (CVG Tecmin, C.A., 2002).....	23
3.1	Evaluación de diferentes análisis gráficos (Simons y Sentürk, 1977 en Yang, 1996).....	5
4.1	Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.....	67
5.1	Características de las estaciones climatológicas utilizadas (INAMEH, 2017).....	75
5.2	Precipitación media mensual y anual (mm). Período 1950-2011 (INAMEH, 2017).....	76
5.3	Evaporación media, mensual y anual (mm). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).....	78
5.4	Temperatura máxima, media y mínima (°C). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).....	79
5.5	Insolación media mensual y anual (horas de sol). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).....	82
5.6	Humedad relativa media mensual y anual (%). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).....	83
5.7	Resultados del análisis granulométrico.....	87
5.8	Resumen de análisis morfoscópicos realizados a las muestras.....	88
5.9	Valores de velocidad de la corriente, caudales y niveles en la sección de afuera de la milla 192.0 del sector Playa Colorada - Palo Solo del río Orinoco.....	91
5.1 0	Velocidades límites para que se produzcan los estados de movimiento de los sedimentos.....	94
5.1 1	Parámetros de la corriente para el momento de ocurrencia del movimiento de las partículas de las muestras recolectadas.....	94
5.1 2	Fracción porcentual que se moviliza según mecanismo de criterio de Visher.....	96
5.1 3	Resultados del modelo de predicción de formas del lecho de Van Rijn para el área de estudio.....	97

LISTA DE APÉNDICES

- A ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA POR**
- A.1 Análisis granulométrico de la muestra M1
- A.2 Análisis granulométrico de la muestra M2
- A.3 Análisis granulométrico de la muestra M3
- A.4 Análisis granulométrico de la muestra M4
- A.5 Análisis granulométrico de la muestra M5

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó gracias a la colaboración de la CVG Gerencia Canal de Navegación del Orinoco, quienes suministraron la información hidrográfica necesaria, con el propósito de realizar un análisis sobre el movimiento de los sedimentos en el sector Punta Cuchillo del río Orinoco en el municipio Caroní del estado Bolívar.

Las condiciones del movimiento de los sedimentos fluviales dependen en gran medida de factores como son: las características texturales de los sedimentos, las características de las corrientes del río y de las condiciones geomorfológicas del cauce. Por otra parte, se ha determinado que los sedimentos en un río se pueden movilizar por arrastre, saltación y por suspensión; y ello puede ser estimado utilizando modelos empíricos como los de Hjulström y Visher, entre otros.

Muchos canales de navegación en el mundo han visto limitada su vida útil porque se han visto sedimentados por efecto de la acción de las corrientes fluviales. El río Mississippi es una prueba de ello, ya la acción gubernamental lo ha convertido en un verdadero laboratorio gigantesco lleno de obras para el control del movimiento de los sedimentos; donde podemos observar desde presas para el control de los flujos pluviales, obras de encauzamiento, obras para la protección de las márgenes, obras continuas de dragado para mantener las profundidades navegables, entre otras.

Otro ejemplo, de obras civiles que sufren el efecto del proceso de movimiento de sedimentos (erosión – sedimentación) en ambientes fluviales, son los casos del primero, segundo y tercer puente sobre el río Orinoco, los malecones o muros marginales de Caicara del Orinoco, de Ciudad Bolívar y el de Barrancas del Orinoco

y finalmente, el canal de navegación, entre otras. Sobre todo esta última+ obra civil, a través de la cual se movilizan los buques por ese tramo del río Orinoco, hace imperativo el desarrollo de esta investigación ya que con seguridad afectará al canal.

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

En el primer Capítulo se plantea la situación a investigar, objetivo general, objetivos específicos, justificación, alcances y limitaciones.

En el segundo capítulo se encuentran rasgos generales del área de estudio, su ubicación geográfica, geología regional, climatología, hidrografía y regímenes de corriente del río Orinoco.

El tercer capítulo muestra los antecedentes de estudio en la zona y conceptos teóricos y prácticos que enriquecen el contenido de trabajo.

El cuarto capítulo 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 quinto capítulo se presentan los resultados de la investigación y por último se muestran las conclusiones y recomendaciones relevantes de la investigación.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

El transporte de sedimentos por los ríos es un proceso continuo en la naturaleza, prueba de esto es la migración de los ríos, la formación y destrucción de bordos e islas, y los cambios de contorno en playas y costas. Estos procesos se originan con el inicio de movimiento de los sedimentos, la entrada en suspensión, el arrastre de fondo, lo que produce erosión, el transporte de sedimento, la deposición de partículas, su compactación y consolidación, crea continuamente los paisajes y modifica la forma de los ríos, a través del tiempo, su evolución se observa en períodos largos de tiempo.

El conocimiento del transporte de sedimentos en un río es útil en problemas tales como: La determinación de la cantidad de sedimentos que entran al vaso de una presa, para diseñar el volumen o capacidad retención de sedimentos en una presa. En un río navegable es importante determinar la frecuencia de dragado con el fin de mantener el calado suficiente para la navegación de embarcaciones. Cuando se construye una presa, aguas abajo suelen producirse erosiones considerables durante un cierto tiempo. En algunos ríos debido a la extracción excesiva de los sedimentos, los que se usan comúnmente para la construcción, se pueden tener efectos adversos en la forma del cauce y el hábitat biológico en tramos de río aguas abajo.

Los sedimentos transportados son los del fondo y las orillas del cauce además de partículas muy finas procedentes de los terrenos de la cuenca. Las partículas entran en movimiento tan pronto como el esfuerzo cortante aplicado en el material del fondo exceda al esfuerzo cortante crítico o de inicio de movimiento. Generalmente las

partículas de limo y arcilla entran en suspensión, y las partículas de arena y grava ruedan y se deslizan en una capa delgada cerca del fondo llamada capa de fondo.

Los sedimentos tienen funciones esenciales en los ríos como son: el desarrollo del cauce en sus cambios de forma (ancho, profundidad, formación de islas o bancos de arena), sirven para minimizar la degradación del fondo ya que suplen el sedimento en zonas erosionadas, en la formación de hábitats para un gran número de organismos vivos, en el transporte de nutrientes. Algunos riesgos del transporte de sedimentos son el cambio del ancho del cauce durante las avenidas, los deslizamientos de materiales, y los flujos de lodos y escombros en las inundaciones. La ingeniería de ríos se encarga de la restauración de los ríos, y su protección contra inundaciones.

Los procesos que gobiernan el movimiento de los sedimentos en los ríos son complejos y dependen de los siguientes factores: hidrológicos, hidráulicos, geológicos, geográficos y biológicos. La descarga de agua, su velocidad, las características de los materiales de las paredes y del fondo del cauce, la disponibilidad de material para su transporte. Otros factores son: la duración e intensidad de lluvia, la pendiente, el uso de suelo en la cuenca, la cobertura vegetal, el tipo de suelo, las actividades humanas.

Los escurrimientos pueden mover una porción de sedimentos finos (arena a grava y guijarros) anualmente, sin embargo el material más grueso puede durar mucho tiempo sin moverse hasta que los escurrimientos sean suficientemente fuertes para desplazar la mezcla de sedimentos.

Los modelos de transporte de material del fondo pueden clasificarse de diferentes maneras, una es en relación al tipo de arrastre del material, que puede ser por el fondo, en una capa considerada de dos veces el diámetro de las partículas, o en suspensión (Einstein, 1950).

Según esta clasificación se distinguen modelos de transporte de carga de fondo, de carga en suspensión y de carga total. Otra clasificación se basa en modelos basados en diferencias de esfuerzos cortantes, tipo Du Boys, y en diferencias de caudales, tipo Schoklitsch, respecto a valores críticos; basados en consideraciones probabilísticas, tipo Einstein; y basados en el número de Froude densimétrico de las partículas (Machado, 2005).

Estos modelos son aplicados a los principales ríos navegables del mundo como son el Mississippi (EEUU), el río de La Plata (Argentina), el Magdalena (Colombia), el Volga (Rusia), el Rin (Alemania), el Maas (Holanda), y tantos otros que debido a su naturaleza transportan en sus cauces grandes cantidades de sedimentos y que el hombre de alguna manera pretende cuantificar y cualificar el proceso de sedimentación en si mismo, así como todas las variables naturales involucradas para acometer eficientemente las labores de mantenimiento de sus respectivos canales de navegación.

En Venezuela, existen tres (3) canales interiores navegables: el canal de navegación del lago de Maracaibo, el canal del río Orinoco y el canal del río San

Juan. Es por todos conocido que el río Orinoco es la principal vía fluvial navegable del país y esta condición de navegabilidad se encuentra dividida en dos (2) tramos de acuerdo a las características del río: el primero de ellos es el tramo el Jobal – Matanzas y el segundo de ellos es el tramo Matanzas – Boca Grande. El primer tramo mencionado está diseñado para el tránsito de embarcaciones de bajo calado como los trenes de gabarras que transportan el mineral de bauxita desde el Puerto de El Jobal hasta el Puerto de Matanzas. El segundo tramo, es un canal diseñado, entre el Puerto de Matanzas y la milla 0 en el estuario de la desembocadura del río en el océano Atlántico, para el tránsito de buques de hasta 65000 Toneladas de peso muerto, los cuales en su gran mayoría son buques para el transporte de exportación de mineral de hierro y buques de carga general.

El tramo Matanzas – Boca Grande del río Orinoco tiene una longitud aproximada de 194 millas náuticas y se encuentra a su vez dividido en doce (12) sectores. Dos terceras partes de esta longitud de este tramo del canal debe ser sometido a operaciones de mantenimiento de dragado y balizamiento para garantizar el tránsito seguro de los buques en dicho tramo.

Las operaciones de dragado de mantenimiento de cada sector están estrechamente vinculadas a la dinámica hidrosedimentaria del río Orinoco; es decir, que anualmente se debe proceder a la remoción de una fracción importante del total de los sedimentos que el río ha transportado, lo cual ha sido estimado por la Tippet, Abbet, McCarty y Stratton Engineers and Architects of New York (1970) en aproximadamente 400 millones de toneladas métricas de sedimentos anuales.

El sector Playa Colorada-Palo Solo no es una excepción en cuanto a ser objeto del mantenimiento de las profundidades del canal de navegación. Sin embargo, para llevar a cabo ese proceso de remoción de sedimentos del lecho mediante dragado, es necesario conocer como se producen u ocurren los dinámicos procesos de

sedimentación y de aumento y disminución de los niveles de la superficie del agua. Se hace necesario pues, mantener una observación, registro y análisis continuo de todos los procesos que están involucrados en el movimiento de sedimentos y en la variación de la geomorfología del lecho del río Orinoco.

Los grandes ríos transfieren sedimentos a través de miles de kilómetros, desde su nacimiento generalmente en las zonas montañosas, hasta su descarga al mar. Algunas veces atraviesan continentes, como es el caso de los ríos Amazonas y Orinoco, proceden de las montañas de los Andes, cuyos sedimentos son transportados por los ríos que atraviesan la parte norte de Sur América. Los sedimentos pueden tardar cientos, a miles de años en su viaje hacia la desembocadura. Del sedimento transportado a los océanos por los grandes ríos que drenan los continentes, del orden de 80 a 90% corresponden a arena fina en suspensión y entre el 10 a 20% a arena gruesa transportada en el fondo. En su desembocadura se llegan a acumular grandes cantidades de sedimento en forma de abanico o delta, algunos de los grandes deltas son: el delta del río Amazonas con un área de 467078 km², el del río Mississippi es con 28568 km², del río Grijalva en México es de 17028 km², la del río Nilo es de 12512 km².

En los estudios acerca de la evolución de la forma que adquiere un río a través del tiempo o morfología se busca asociar los registros de eventos históricos como las grandes avenidas, algunas de ellas provocadas por los huracanes o tormentas tropicales, o con los registros de sismos, para conocer como influyeron en los procesos sedimentarios.

En la práctica para estimar el transporte de sedimentos en un río frecuentemente se usan fórmulas empíricas o semi-empíricas. La ventaja de este tipo de fórmulas es que son simples de aplicar, sin embargo su desventaja es que corresponden a las características específicas del río en el sitio donde se hicieron las mediciones y en la

naturaleza cada río es diferente, por lo que al aplicar diferentes fórmulas se obtienen resultados muy diversos. Para obtener resultados más aproximados es necesario hacer mediciones de campo en el sitio específico, llevar registros del transporte de sedimentos en un cauce a través del tiempo (Espinoza, 2015).

Teniendo en cuenta todo esto, se pretende analizar el problema práctico de transporte de sedimentos que se movilizan a través del tramo comprendido entre las millas 186.0 y 190.0 del canal de navegación en el sector Playa Colorada – Palo Solo del río Orinoco. El conocimiento cualitativo y cuantitativo de este acarreo de sedimentos reviste particular importancia toda vez que muchos de estos sedimentos se depositarán aguas debajo de este sector pudiendo alterar de alguna manera las condiciones del flujo en torno a las estructuras civiles existentes (muelles, canal de navegación, entre otras) en dicha corriente fluvial. En ese orden de ideas, cabe formular las siguientes interrogantes de investigación

:

¿Cuáles son las características climatológicas imperantes en el área de estudio?

¿Cuáles son las características texturales de los sedimentos que pudiesen ser movilizados en el canal de navegación en el área de estudio?

¿Cómo es el transporte de sedimentos que se produce en el tramo de estudio del canal de navegación en el sector Punta Cuchillo del río Orinoco?

¿Cómo es la morfología del cauce del tramo del río Orinoco en estudio donde se han de movilizar los sedimentos?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Caracterizar las condiciones hidrodinámicas y del movimiento de los sedimentos en el sector Punta Cuchillo del río Orinoco, aguas abajo del puente Orinokia, municipio Caroní, estado Bolívar, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar climatológicamente el área de estudio.
2. Describir las condiciones hidráulicas del río Orinoco en el área de estudio.
3. Caracterizar texturalmente los sedimentos presentes en el tramo en estudio del canal de navegación del río Orinoco.
4. Cualificar el transporte de sedimentos que se produce a través del tramo en estudio del río Orinoco.
5. Describir la morfología del cauce del río Orinoco en el área de estudio.

1.3 Justificación de la investigación

El transporte de sedimentos que se produce en el sector Punta Cuchillo del río Orinoco estará condicionado por variables como la geomorfología del río, las características texturales de los sedimentos y la magnitud del caudal del río. Ahora bien, estos sedimentos serán transportados generalmente como un flujo en dos (2) fases y se acarrearán río abajo.

En el caso que nos ocupa, los sedimentos acarreados serán probablemente sedimentados en gran parte, constituyéndose en un caudal sólido que tendrá incidencia en los procesos erosivos y sedimentarios y por lo tanto en las variaciones de la geomorfología de dicho río. Tales circunstancias ameritan o justifican la necesidad de analizar como se produce el transporte de sedimentos en este importante canal natural.

1.4 Alcance de la investigación

A través de la presente investigación se efectuará un análisis de las formas del lecho y del transporte de sedimentos que ocurre en el Punta Cuchillo del río Orinoco de acuerdo al caudal que fluya por dicho canal, el cual dependerá, entre otras cosas, de la magnitud de las crecidas que se produzcan en la cuenca, de la naturaleza o características texturales de los sedimentos presentes en el lecho fluvial y de la geomorfología del cauce de dicho sector del río Orinoco.

1.5 Limitaciones de la investigación

Durante la ejecución de la presente investigación no se detectaron obstáculos o inconvenientes que pudiesen de alguna manera interferir con el logro de los objetivos planteados y aún cuando no se le permitió, por motivos de seguridad, ejecutar el muestreo de suelos del lecho personalmente a los tesistas, se le indicó al personal de apoyo de la CVG – GCNO cual debía ser el patrón de muestreo de suelos.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación y acceso del área de estudio

El área de estudio está localizada en el Tramo El Jobal – Matanzas del Canal de Navegación del río Orinoco, específicamente en el sector Punta Cuchillo del mencionado canal de navegación. Está comprendida entre los paralelos UTM de Latitud Norte y los meridianos de coordenadas N 917330 – N 913346 y E 510298 – E 515258.

Esta área corresponde a la zona aguas debajo de la ubicación Puente Orinokia sobre el río Padre, el cual estará ubicado al norte del Estado Bolívar, jurisdicción de los municipio Caroní en el extremo oeste de Ciudad Guayana del estado Bolívar y el municipio Independencia del sur este del estado Anzoátegui, en la margen izquierda del río Orinoco (Figura 2.1 y 2.2).

El acceso a la zona de estudio se realiza por vía fluvial a través del Canal de Navegación del río Orinoco y por vía terrestre a través del Distribuidor Autopista (Ciudad Bolívar – Ciudad Guayana) – Estribo sur del puente.

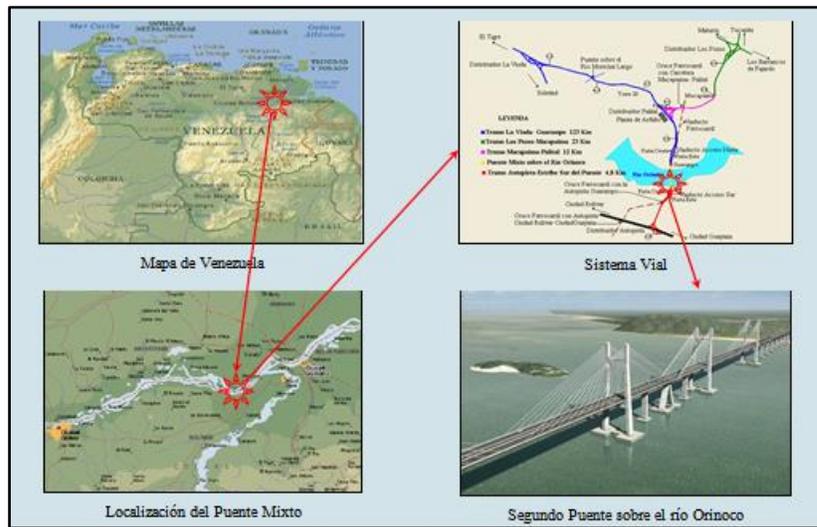


Figura 2.1 Vías de acceso al área de estudio (Enciclopedia Encarta 2000 y www.puenteorinoco.com).

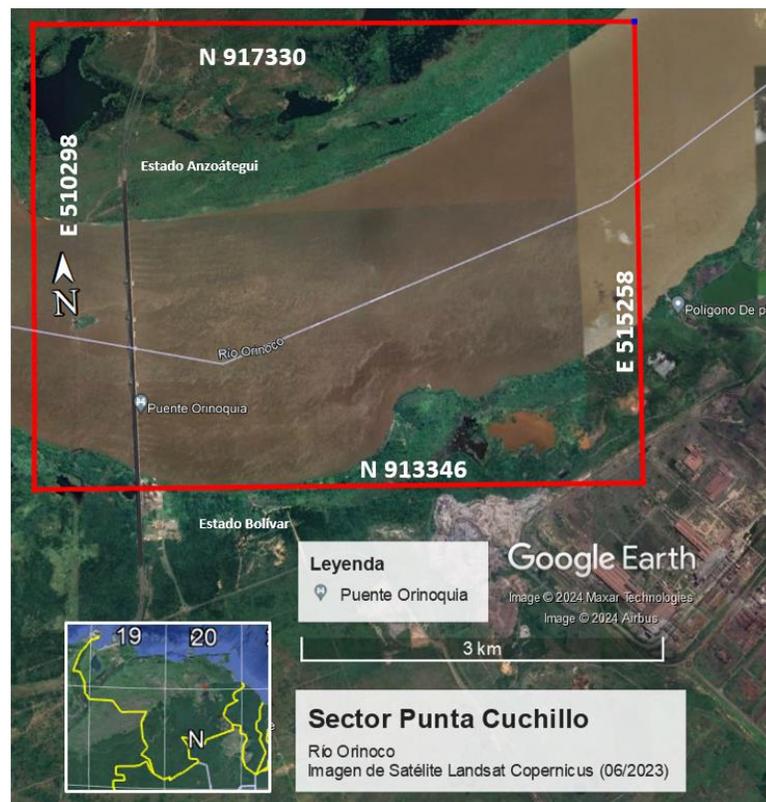


Figura 2.2 Zona de estudio, sector Punta Cuchillo.

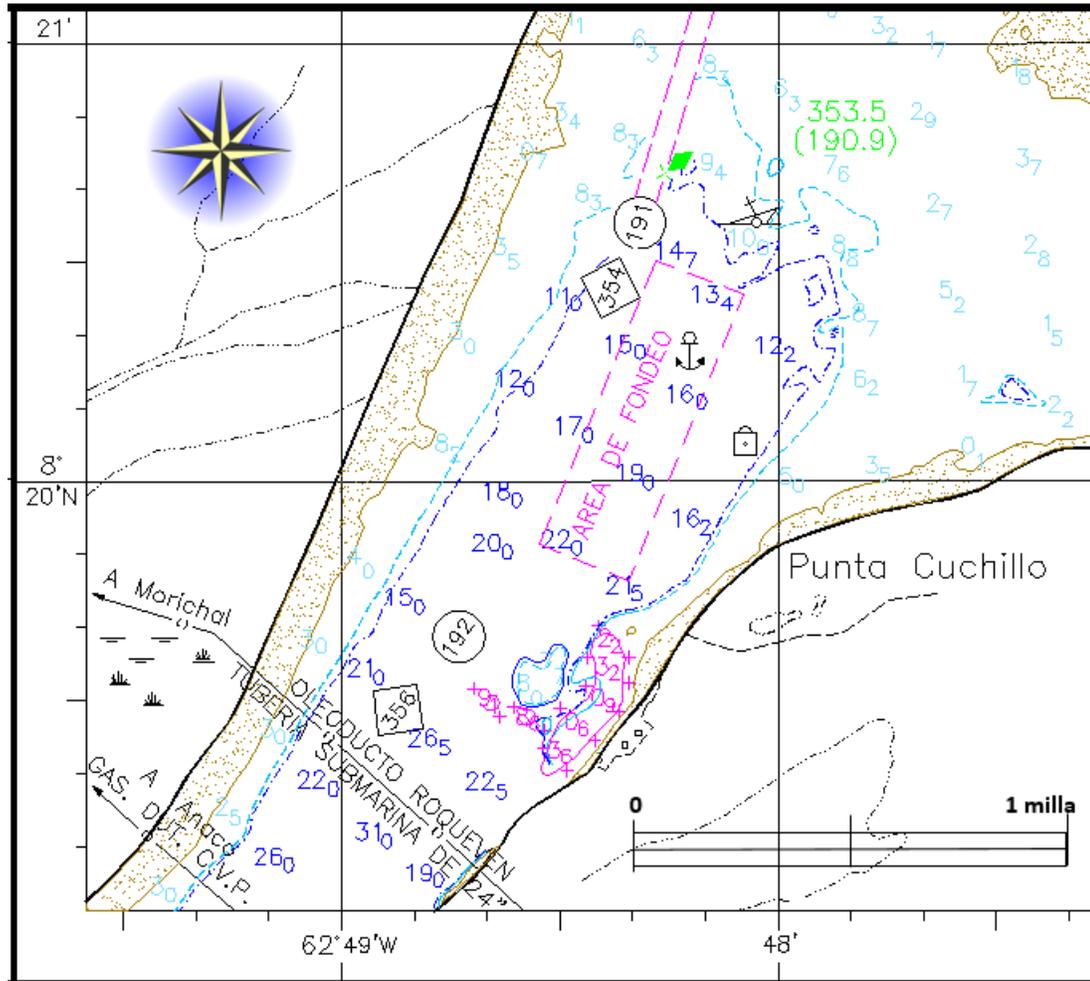


Figura 2.3 Carta de Navegación del sector Punta Cuchillo.

El transporte de sedimentos por los ríos es un proceso continuo en la naturaleza, prueba de esto es la migración de los ríos, la formación y destrucción de bordos e islas, y los cambios de contorno en playas y costas. Estos procesos se originan con el inicio de movimiento de los sedimentos, la entrada en suspensión, el arrastre de fondo, lo que produce erosión, el transporte de sedimento, la deposición de partículas, su compactación y consolidación, crea continuamente los paisajes y modifica la forma de los ríos, a través del tiempo, su evolución se observa en períodos largos de tiempo.

El conocimiento del transporte de sedimentos en un río es útil en problemas tales como: La determinación de la cantidad de sedimentos que entran al vaso de una presa, para diseñar el volumen o capacidad retención de sedimentos en una presa. En un río navegable es importante determinar la frecuencia de dragado con el fin de mantener el calado suficiente para la navegación de embarcaciones. Cuando se construye una presa, aguas abajo suelen producirse erosiones considerables durante un cierto tiempo. En algunos ríos debido a la extracción excesiva de los sedimentos, los que se usan comúnmente para la construcción, se pueden tener efectos adversos en la forma del cauce y el hábitat biológico en tramos de río aguas abajo.

Los sedimentos transportados son los del fondo y las orillas del cauce además de partículas muy finas procedentes de los terrenos de la cuenca. Las partículas entran en movimiento tan pronto como el esfuerzo cortante aplicado en el material del fondo exceda al esfuerzo cortante crítico o de inicio de movimiento. Generalmente, las partículas de limo y arcilla entran en suspensión, y las partículas de arena y grava ruedan y se deslizan en una capa delgada cerca del fondo llamada capa de fondo.

Los sedimentos tienen funciones esenciales en los ríos como son: el desarrollo del cauce en sus cambios de forma (ancho, profundidad, formación de islas o bancos de arena), sirven para minimizar la degradación del fondo ya que suplen el sedimento en zonas erosionadas, en la formación de hábitats para un gran número de organismos vivos, en el transporte de nutrientes. Algunos riesgos del transporte de sedimentos son el cambio del ancho del cauce durante las avenidas, los deslizamientos de materiales, y los flujos de lodos y escombros en las inundaciones. La ingeniería de ríos se encarga de la restauración de los ríos, y su protección contra inundaciones.

Los procesos que gobiernan el movimiento de los sedimentos en los ríos son complejos y dependen de los siguientes factores: hidrológicos, hidráulicos, geológicos, geográficos y biológicos. La descarga de agua, su velocidad, las características de los

materiales de las paredes y del fondo del cauce, la disponibilidad de material para su transporte. Otros factores son: la duración e intensidad de lluvia, la pendiente, el uso de suelo en la cuenca, la cobertura vegetal, el tipo de suelo, las actividades humanas.

Los escurrimientos pueden mover una porción de sedimentos finos (arena a grava y guijarros) anualmente; sin embargo, el material más grueso puede durar mucho tiempo sin moverse hasta que los escurrimientos sean suficientemente fuertes para desplazar la mezcla de sedimentos.

2.2 Geomorfología regional.

Regionalmente se pueden observar varios ambientes geomorfológicos según el Léxico Estratigráfico de Venezuela (M.E.M.,1956).

- a. Llanura aluvial del río Orinoco.
- b. Zonas inundables del delta del Orinoco.
- c. Relieve casi plano de sabana.

2.3 Aspectos geomorfológicos del río Orinoco

El río Orinoco en el tramo de interés desarrolla su cauce sobre el borde del Escudo Guayanés, formado por rocas cristalinas de edad precámbrico y limitado por su margen izquierda por aluviones y sedimentos recientes de los Llanos de Venezuela, representa un tramo de 640 km. Situado entre El Jobal, en las inmediaciones de las confluencias del río Suapure, con el río Orinoco y Matanzas en su confluencia con el río Caroní, abarca una extensión comprendida en lo que se ha identificado como el Medio y Bajo Orinoco cuya sección entre los estados Apure y Guárico se conoce geográficamente como el Arco Orinoqueño, debido a la inflexión que experimente el canal que drenando de Sur a Norte, gira al Este, para seguir adyacente al Escudo, hasta

descargar al Océano Atlántico a través de extenso delta de 30.000 km². El único que ofrece una estructura deltaica dentro de los grandes ríos de Sur América (Instituto de Mecánica de Fluidos, UCV. 1998).

En este trayecto el río Orinoco recibe la contribución de numerosos tributarios con características distintas, tanto a lo relativo al comportamiento hidrológico y contraste entre las geologías aportadoras, lo que se refleja en distintas modalidades de relieve, litología, cubierta vegetal, etc., Esto determina a su vez, diferentes formas y suministros sólidos e influencia de los diferentes ríos tributarios, especialmente al considerar el sector del Escudo Guayanés y las áreas geológicamente más jóvenes de las cordilleras de los Andes. Los ríos que drenan cuenca del Escudo Guayanés, presentan módulo de precipitación más elevados, ello combinado al carácter de las rocas, producen magnitudes superiores de escorrentías; en contraste, los suministros sólidos son relativamente bajos representados por arenas que resultan de la alteración de rocas ígneas y metamórficas.

2.4 Geología regional

El área de estudio 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 (Figura 2.4).

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).

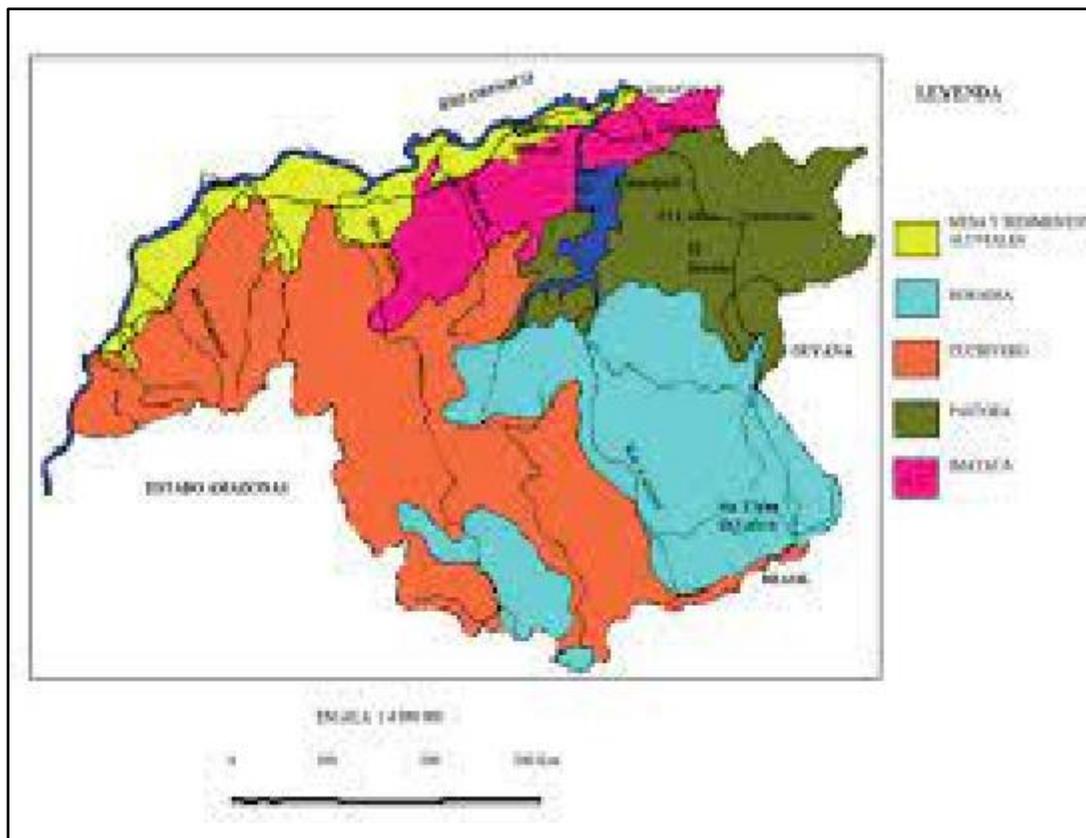


Figura.2.4 Provincias geológicas de Guayana (Mendoza, 2000).

2.4.1 Provincia Geológica 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 anfibolíticos, migmatitas, charnockquitas 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).

2.4.2 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).

2.4.3 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 esorrentía 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.

2.5 Geología local

El sector en estudio se encuentra 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 área de estudio está constituida por sedimentos de río provenientes principalmente del Complejo de Imataca los cuales son depositados en el lecho durante los procesos 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).

2.6 Hidrografía del río Orinoco

El río Orinoco posee una cuenca hidrográfica que abarca un área de aproximadamente 990000 km² de los cuales 640000 km² están en territorio venezolano y 350000 km² en territorio colombiano, su longitud es de 2063 km con su nacimiento en el macizo de Guayana y el límite con Brasil en el cerro Delgado Chalbaud, a una altura de 1042 m, sus cabeceras fueron descubiertas 4 siglos y medio después de su desembocadura. El río Orinoco puede dividirse en 4 tramos fluviales: alto Orinoco, que se extiende desde la cabecera en dirección aproximada Este – Oeste hasta el raudal Los

Guaharibos en San Fernando de Atabapo; El Orinoco medio, orientado hacia el Norte hasta la desembocadura del río Apure y comprendido desde el raudal de los Guaharibos y el raudal de Atures; El bajo Orinoco, que se dirige francamente al Este, desde el raudal Ature, al Sur de Puerto Ayacucho, hasta el Atlántico donde se abre en un majestuoso abanico Deltaico; Y el Delta del río Orinoco formado a partir de la formación de barranca (I.N.C. 1990).

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

El flujo principal de estos ríos es permanente tanto en la época de estiaje o sequía como en tiempos lluviosos o de inviernos, lo cual hace que dichos flujos, en este caso, toman la característica de cargarse excesivamente de sedimentos suspendidos debido al arrastre de los suelos vecinos poco consolidado o desprovistos de vegetación (I.N.C. 1990).

En lo que respecta a la morfología y la actividad sedimentaria es muy dinámica, ya que el Orinoco es un río típicamente aluvial, su fondo no es estable y se modifica a la carga de los sedimentos, el caudal y la época del año (I.N.C. 1990).

El caudal varía considerablemente en función de los cambios de la pluviosidad, pudiéndose separar los momentos de crecidas o períodos de caudal mayor ligados a estaciones pluviosas y los estiajes o períodos de débil caudal (periodo seco).

En general en un área determinada será función sobre todo de la pluviosidad (y de las dimensiones de la cuenca hidrográfica y en menor de la vegetación de la naturaleza de los suelos y del sustrato geológico) (INC, 1990).

2.6.1 Procesos hidrológicos del río Orinoco

Desde el punto de vista hidrológico, el mecanismo más notable como factor condicionante de evolución de las estructuras de la planicie en el río Orinoco, y el cual se asocia a la forma del hidrograma y magnitud de los caudales generados a partir de una cuenca con una superficie drenada de cerca de un millón de km², refleja en las amplias variaciones de los niveles entre los períodos seco y lluvioso, en particular en la parte media y baja del canal, registrándose variaciones de 11.5 m. en Caicara, 17 m. En Musinacio, (Mapire 16 m. en Ciudad Bolívar y 9 m. en Barrancas situada en el vértice del Delta (INC, 1990).

Este comportamiento en la fluctuación de niveles difiere notablemente en observar en otros grandes ríos del mundo (río Amazonas, 8 m en el tramo inferior), y origina mecanismos de erosión – de posición en aéreas de la planicie, así como forma fluvial que adquiere características particulares del río Orinoco tales como : islas fluviales, barras alternadas y de puntas, rizaduras, dunas, afloramientos rocosos, depresiones, rápidos (raudales), canales laterales activos, segmentos estrangulados de canales, lagos en media luna (oxbow), espirales de meandros, restos de paleo-cauces o paleocanales, diques naturales y bancos colonizados por vegetación, lagunas y humedades permanentes y estacionales y depósitos de polvos y arena de origen eólico (Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V. 1998).

2.7 Caracterización biótica

2.7.1 Fauna

La fauna silvestre del estado Bolívar, tiene una gran variedad de especies características de los territorios del Sur del río Orinoco, llegándose a reportar hasta 212 especies de mamíferos pertenecientes a 31 familias, de las cuales 37 especies presentan un interés económico y cinegenético, según la lista oficial de los animales de caza del MPPP el Ecosocialismo y Aguas. Esta zona posee aproximadamente 1.108 especies de aves de este total 41 presentan un interés económico y cinegenético. De la misma forma se reportan 133 especies de reptiles repartidos en 18 familias y existen algunos lugares en los cuales posiblemente se alberguen especies endémicas (CVG Tecmin, C.A., 2002).

La ictiofauna del río Orinoco se estima en alrededor de 500 especies de peces, la mayoría de ellas realizan movimientos migratorios para diversos fines, tales como reproducción, dispersión o alimentación. La Tabla 2.1 muestra algunas variedades de peces del río Orinoco (CVG Tecmin, C.A., 2002)

Tabla 2.1 Especies de peces más comunes en el río Orinoco (CVG Tecmin, C.A., 2002).

Bagre Dorado	Coporo	Sardinata	Bagre Paisano	Curvinata	Palambra
Bagre Rayado	Guabina	Palometa	Blanquilla	Guaraguara	Pavón
Cachama	Guitarrilla	Pijotero	Caribe	Morocoto	Zapoara

2.7.2 Flora

Según el informe suministrado por el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas (antes Ministerio del Ambiente y los recursos Naturales) la

vegetación más importante que se puede localizar en la ribera norte del sector Matanzas

– Palo Solo está representada por las siguientes especies:

1. Algarrobo (*Hymenaea coubaril*).
2. Cedro (*Cedrela augustifolia*).
3. Pardillo (*Cordia alliodora*).
4. Roble (*Platymiscium pirnatum*).
5. Salado (*Erismia uncinatum*) (CVG Tecmin, C.A., 2002). .

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes o estudios previos

Algunos esfuerzos se han realizado hasta la fecha para incrementar el conocimiento sobre el comportamiento hidráulico, geomorfológico y sedimentológico del sector Araguaito que servirán de sustentación técnica y metodológica a esta investigación, entre los cuales debemos mencionar los siguientes trabajos:

INFORME FINAL DE LOS TRABAJOS DE TOPOGRAFÍA, BATIMETRÍA Y ESTUDIOS GEOFÍSICOS REALIZADOS, EN EL AÑO 2000, POR LA OFICINA TÉCNICA DEL MONTE – S.G.A, C.A (O.T.M – S.G.A, C.A) PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA VIAL PUENTE MIXTO SOBRE EL RÍO ORINOCO. En este informe se presenta una descripción detallada de las actividades, técnicas y equipos empleados para llevar a cabo tales trabajos, además se anexan planos topográficos, batimétricos y de tope de roca, los cuales son de gran utilidad para este estudio.

TRX Consulting – Next, C.A (NEXT) presentó un Reporte a O.T.M – S.G.A, C.A, sobre un LEVANTAMIENTO SÍSMICO EN AMBAS MÁRGENES DEL RÍO ORINOCO EN LA ZONA DE MATANZAS, ESTADO BOLÍVAR Y ANZOÁTEGUI RESPECTIVAMENTE, CON LA FINALIDAD DE CONOCER LA PROFUNDIDAD A LA CUAL SE ENCUENTRA EL TOPE DE ROCA Y QUE PUDIERA SERVIR DE APOYO PARA LA UBICACIÓN DE LAS FUNDACIONES DEL PUENTE.

GEOHIDRA Consultores, C.A (2001), realizó un ESTUDIO DE SUELOS PARA EL SISTEMA VIAL PUENTE MIXTO SOBRE EL RÍO ORINOCO, con el objetivo de determinar los tipos de suelos y rocas presentes en el área de proyecto. Para ello realizó varias perforaciones para la obtención de núcleos (muestras) que luego fueron analizados en el laboratorio mediante varios ensayos (granulométrico, corte directo, compresión inconfiada, entre otros) a fin de clasificar los suelos en la zona y proporcionar información indispensable para la fundación de las pilas que soportarán la estructura.

C.V.G – Técnica Minera, C.A. (C.V.G – TECMIN) (2001), realiza una EVALUACIÓN AMBIENTAL ESPECÍFICA EN LA ZONA DONDE ACTUALMENTE SE CONSTRUYE EL FUTURO PUENTE MIXTO SOBRE EL RÍO ORINOCO, en donde presenta detalladamente la información básica de la obra, una explicación y posibles soluciones a los problemas de impacto ambiental (ecológicos, económicos, etc) que generará la construcción de esta estructura.

Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (L.N.E.C) (2002), con sede en Lisboa le presenta a ODEBRECHT el Relatório Final sobre el ESTUDO DE PROTECÇÃO DOS PILARES, en donde efectúa una caracterización de las condiciones de escurrimiento en la sección del puente, un análisis de las variaciones del fondo aluvional, una estimación de erosiones localizadas en las pilas del puente y finalmente las soluciones para la protección de las pilas P29 – P39 que sustentarán la obra.

La Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G) (2003), conjuntamente con la Constructora Norberto Odebrecht, S.A (ODEBRECHT) y otras empresas, entre ellas el Instituto Nacional de Canalizaciones (I.N.C), presentan un INFORME DONDE MUESTRAN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE PILARES UTILIZADOS EN EL MUNDO, CON LA FINALIDAD DE ESCOGER LA

SOLUCIÓN MÁS APROPIADA PARA ESTA ESTRUCTURA Y ASÍ EVITAR FUTUROS ACCIDENTES O PROBLEMAS GRAVES EN EL PUENTE.

También existen además varios planos batimétricos y planillas de datos de sondeos, niveles del río, hidrogramas, etc., en los archivos de los Departamentos de Hidrografía, Dragado e Investigación de la GCNO, como fuente de datos para la realización de este estudio.

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 Matanzas – Palo Solo, el cual es el área de estudio de la actual investigación.

Tocuyo, Francis (2018), elaboró el trabajo de grado titulado “FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA EL USO DE DRAGAS DE CORTADOR EN LA EXPLOTACIÓN DE ARENA PARA LA FABRICACIÓN DE VIDRIO EN EL SECTOR PALO SOLO DEL RÍO ORINOCO. ESTADO ANZOÁTEGUI. VENEZUELA”, cuyo objetivo principal consistía en presentar un análisis sobre la posibilidad de explotar arenas del lecho del río Orinoco en el sector Palo Solo. Para

lograr este fin, debió realizarse un muestreo de los materiales del lecho existentes en el mencionado sector.

La importancia de ese estudio para complementar la información de la investigación que se desarrolla en este documento estriba en la caracterización de las muestras de los materiales del lecho del sector en estudio. Es evidente que esa caracterización de los sedimentos permitirá validar las condiciones texturales presentadas en esta investigación.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Sedimentos

Los sedimentos son materiales derivados de rocas preexistentes debido a los procesos de meteorización (físicos o químicos), y que pueden ser transportados por cualquier medio, ya sea hielo, agua o viento, bajo condiciones normales en la superficie terrestre. Tarbuck, E, et al. (2005).

3.2.2 Propiedades de los sedimentos

Las propiedades más importantes de los sedimentos son:

3.2.2.1 Tamaño

La propiedad más importante de un sedimento es su tamaño, por la cual, es la propiedad que los caracteriza. Los tamices clasifican las partículas en base a su dimensión del área de la sección menor. La escala más usada para describir el tamaño de las partículas es la escala de Udden-Wentworth. (UDO, 2001).

3.2.2.2 Forma

Es la relación que existe a, b y c; es decir entre los tres ejes de la partícula. Donde a es el largo, b la anchura y c el espesor.

La propuesta por Zingg (1935), utiliza las relaciones axiales de las partículas. Es en base a la relación entre los ejes (a, b y c) del clasto (graficando: b/a y c/b). (Zingg, 1935).

3.2.2.3 Esfericidad

Es la medida del grado al que se aproxima una partícula a la forma de una esfera. Definiendo el comportamiento dinámico de la partícula Sneed y Folk propusieron, una medición de la esfericidad por medio de la esfericidad efectiva de sedimentación, el cual consiste en la relación entre la sección transversal de la esfera de igual volumen que la partícula dividida por su área proyectada máxima (UDO, 2001).

3.2.2.4 Redondez

Es el grado de curvatura que presentan las aristas de la partícula. Depende del tamaño y la resistencia mecánica de los granos y en general, aumenta con el transporte. (UDO, 2001).

3.2.2.5 Fábrica

La fábrica es la propiedad que se relaciona con la orientación o la falta de ella de los elementos que componen una roca. La determinación de la fábrica se hace a partir orientación espacial de ejes de los individuos. (UDO, 2001).

3.2.2.6 Empaque

El empaque consiste en la disposición y el arreglo de las unidades solidas en que cada componente se sujeta, y se mantiene en su lugar dentro del campo gravitacional de la tierra por el contacto tangencial con sus vecinos. (UDO, 2001).

3.2.3 Movimiento incipiente de sedimentos

Debido a la naturaleza variante de los sedimentos a lo largo de un lecho aluvial, es difícil definir con precisión con cuales condiciones de flujo una partícula de sedimento comenzará a moverse. (Yang, C. 1996).

El equilibrio de una partícula, en el fondo de un río aluvial, es perturbado si la resultante de las fuerzas desestabilizadoras (fuerzas de arrastre y alzamiento hidrodinámico) es mayor que las fuerzas estabilizadoras que resisten el movimiento, tales como gravedad y cohesión. Cuando el sedimento que compone el lecho es granular incoherente las partículas resisten el movimiento principalmente debido al peso sumergido. Las partículas granulares se mueven como entidades simples. En cambio, cuando el material constitutivo del lecho es fino y contiene limo y arcillas, las fuerzas cohesivas predominan y son responsables de la resistencia a la erosión que exhiben tales materiales. Entonces se conoce como **movimiento incipiente** el instante en el que el sedimento que se encuentra en el lecho del río comienza a moverse. (Basile, P. 2003).

3.2.3.1 Modelo de Hjulström

El diagrama de Hjulström indica la relación entre la velocidad del flujo de agua y el tamaño del grano, muestra algunas características importantes del movimiento de sedimentos en las corrientes. La línea inferior en el gráfico (figura 3.1) muestra la

relación entre la velocidad del flujo y las partículas que ya están en movimiento. La línea curva superior muestra la velocidad de flujo requerida para mover una partícula desde el reposo. En la mitad derecha del gráfico, esta línea es paralela a la primera, pero en cualquier tamaño de grano dado, la velocidad requerida para iniciar el movimiento es mayor que la necesaria para mantener la partícula en movimiento. En el lado izquierdo del diagrama, hay una fuerte divergencia de las líneas: contra intuitivamente, las partículas más pequeñas requieren una mayor velocidad para moverlas por debajo del tamaño de limo grueso. Esto se debe a las propiedades de los minerales arcillosos que dominarán la fracción fina en un sedimento. (Nichols, G. 1999).

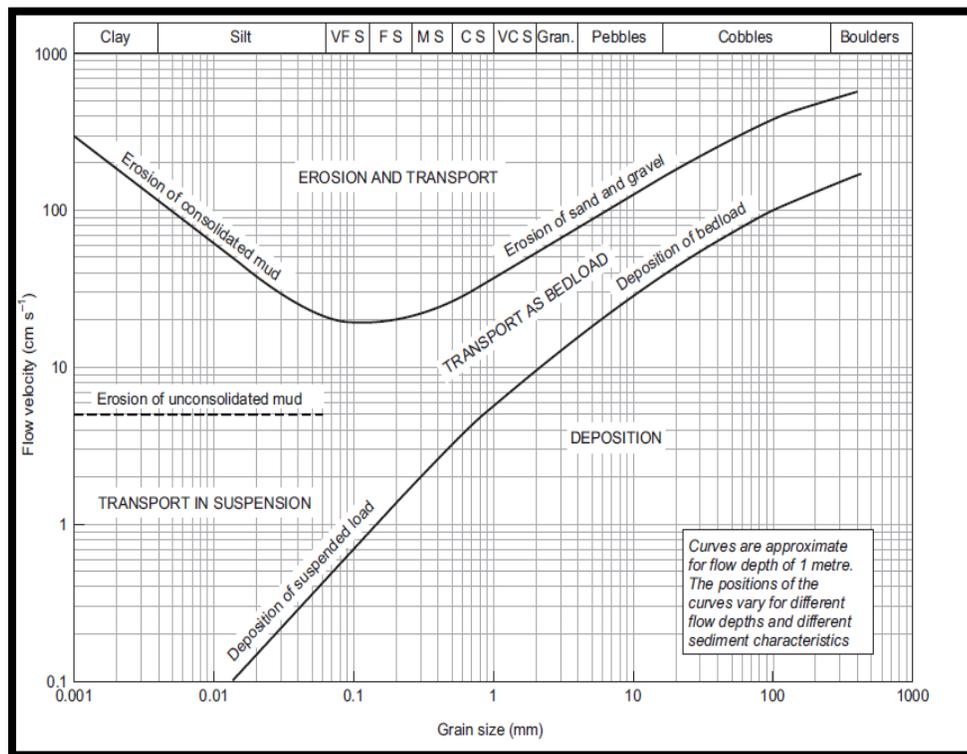


Figura 3.1 Diagrama del modelo de Hjulström.

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

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

Consecuentemente a velocidades de corrientes va disminuyendo o el diámetro de materiales en transporte o depositados va siendo menor. Este fenómeno designa por selección granulométrica está bien evidenciada en la Figura 3.2. (Reineck y Sing 1981).

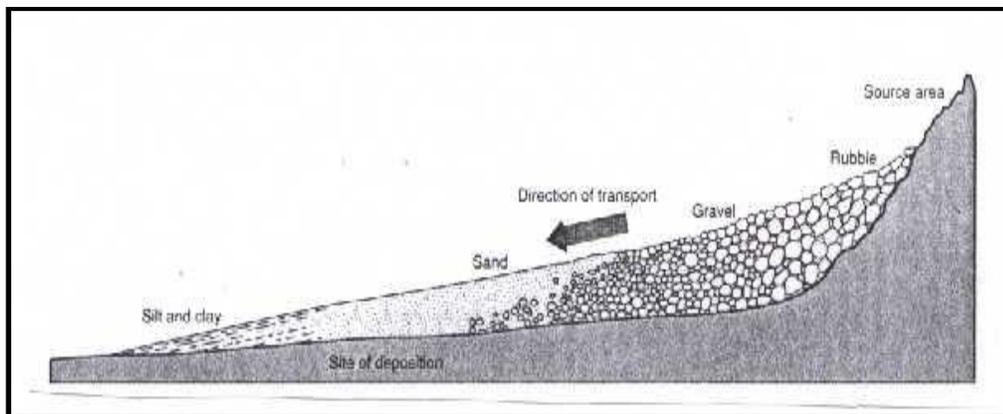


Figura 3.2 Perfil longitudinal de un río, evidenciando una selección granulométrica (Reineck y Sing 1981).

Otro tipo de material seleccionado a lo largo de los ríos y su separación por densidades. En este caso los materiales se van sedimentando siempre que el agua tenga la capacidad para 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 Hjulström 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.

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

Las cargas eléctricas de la superficie de las partículas provocan una atracción entre ellas, dando origen a una masa cohesiva que resiste la erosión. Algunas dimensiones, densidades y formas de los sedimentos también determinan el tipo de transporte efectuado. Una carga solida transportada por un curso de agua puede ser 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 (2) tipos: rodamiento y arrastre causando una forma de sedimento, redondeada o laminar respectivamente. Una carga de suspensión constituida por sedimentos como las arcillas, que son suficientemente pequeñas para permanecer en suspensión indefinidamente por turbulencia de agua. Una apariencia lodosa de un curso de agua durante una intensa

precipitación, por ejemplo: una elevada cantidad de carga en suspensión (Silva y Alcala, 2005)

Una saltación es un tipo de transporte que se desarrolla generalmente de sedimentos arenosos y se caracteriza por una serie de saltos sobre el lecho del río. Constituye, asimismo, un transporte intermedio entre tracción y suspensión. (Figura 3.3).

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

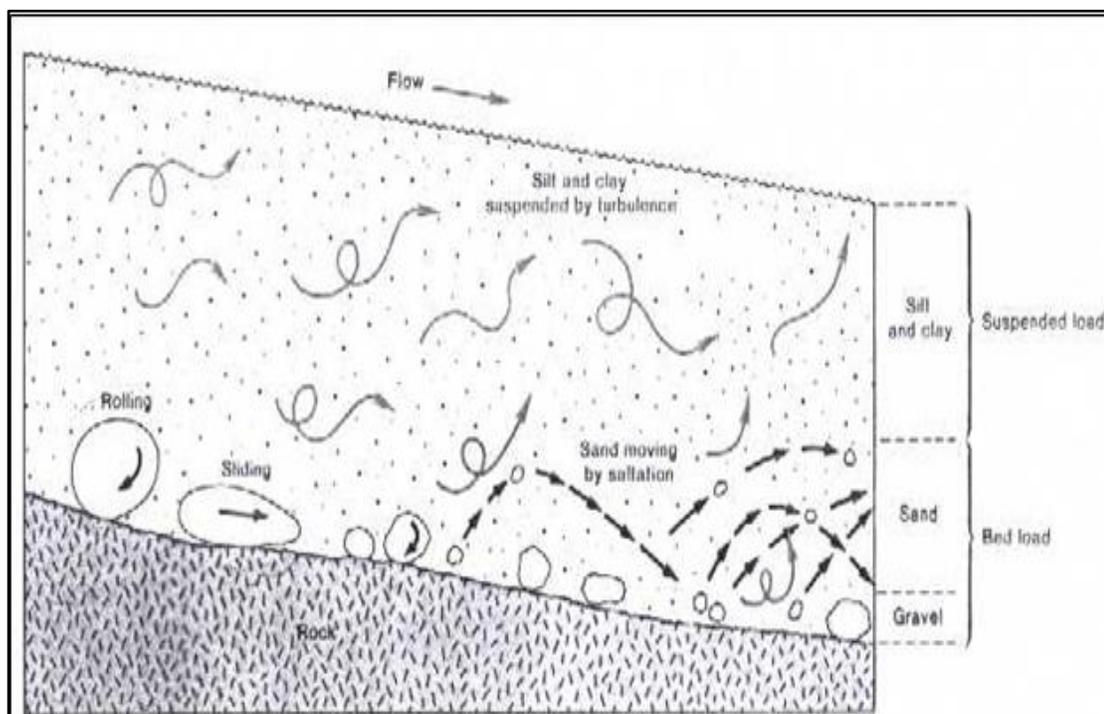


Figura 3.3 Tipos de transporte de los sedimentos de un río. (Reineck y Sing 1981).

3.2.4 Mecanismos de transporte de sedimentos

Existen dos grandes modalidades de transporte fluvial, una química, que se aplica a las partículas susceptibles de disolverse (es decir, de adquirir calibre iónico o molecular en presencia del agua del río) y otra mecánica, que afecta a las partículas no solubles de calibre arcilla, limo, grava, canto y bloque y que presenta distintos caracteres según la categoría granulométrica a que cada una de ellas pertenezca. (Muñoz, J. 1993).

Las partículas de cualquier tamaño se pueden mover en un fluido por alguno de estos tres mecanismos: suspensión, saltación, o rodamiento. (Nichols, G. 1999).

3.2.4.1 Suspensión

A bajas velocidades de corriente en el agua solo las partículas finas (limo fino y arcilla) y las partículas de baja densidad se mantienen en suspensión, Nichols, G. (1999), es decir, se encuentran como carga suspendida en el agua y sin tener contacto con el fondo. (Muñoz, J. 1993)

3.2.4.2 Saltación

Las partículas se mueven dando una serie de saltos, saliendo periódicamente de la superficie del lecho, y recorriendo distancias cortas dentro del fluido antes de regresar nuevamente al fondo. (Nichols, G. 1999).

3.2.4.3 Rodamiento

Los sedimentos se mueven rodando en el flujo de agua sin perder el contacto con la superficie del lecho. (Nichols, G. 1999).

3.2.4.4 Modelo 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 3.4 se muestra la forma de las curvas de frecuencia acumulativa en estos flujos.

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

Estas características son de gran importancia tanto en el tipo de sedimento que puede ser transportado, así como las estructuras que se desarrollan sobre los materiales del fondo.

Tratando de explicar gráficamente la relación existente entre el tamaño del grano de las partículas transportadas (según las clasificaciones internacionales), y la velocidad de transporte de las mismas; se desarrollan estudios geológicos donde algunos geólogos pueden inferir las velocidades de sedimentación de corriente antiguas desde el tamaño de granos en rocas sedimentarias.

diferentes procedimientos. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más expedito es el tamizado. Sin embargo al aumentar la finura de los granos el tamizado se hace cada vez más difícil, teniendo entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación. Conocida la composición granulométrica del material, se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica. (Crespo, C. 1969).

3.2.6 Morfoscopía de los sedimentos

Algunos autores se han inclinado por el significado de las marcas existentes en la superficie de los sedimentos, principalmente los de cuarzo.

El estudio de estas superficies es un análisis visual que se denomina “Morfoscopía”, el cual se realiza mediante la visualización de las partículas a través de una lupa o microscopio para clasificarlas según su forma (redondez, esfericidad) de acuerdo a propuestas de diversos autores.

La observación atenta de los sedimentos permite deducir si se encuentran o no lejos de la fuente sedimentaria, cuáles fueron los agentes y mecanismos de transporte a los que fueron sometidos.

Obtenida la clasificación se realiza un histograma de distribución de sedimentos, apoyada de la granulometría. (UDO. 2004).

3.2.7 Medición del transporte de sedimentos en las distintas formas del lecho

El fondo de un río con transporte de sedimentos, es decir, habiendo superado el umbral del movimiento, puede presentar una configuración no plana sino ondulada siguiendo las llamadas formas de fondo. (FAO, 2017).

Las formas del fondo tienen importancia porque participan en el transporte de sedimentos e intervienen decisivamente en la resistencia al flujo (rugosidad). Estas ocurren con toda propiedad en lechos de arena, mientras que en ríos de grava y en ríos con materiales gruesos de granulometría extendida parece ser que presentan limitadamente o no presentan. (FAO, 2017).

Las características de las formas de fondo de un lecho están prácticamente determinadas por la potencia de la corriente y el diámetro medio del material, cuando este último es igual al diámetro medio de caída de material de fondo, que se define como el diámetro de una esfera que cae con igual velocidad de sedimentación que la partícula en cuestión. Para propósitos prácticos se supone que el diámetro medio del material es el que corresponde al 50% del material en peso.

Para determinar si hay movimiento incipiente, se recomienda utilizar la relación de Shields, la cual considera la variación del parámetro adimensional de Shields (T) con el número de Reynolds de corte (Re). (Escuela Colombiana de Ingeniería. Centro de Estudios Hidráulicos y Ambientales)

$$V = \frac{\tau_o}{\rho} = \sqrt{g \cdot R \cdot S_o} \quad (3.1)$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (3.2)$$

$$T = \frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} \quad (3.3)$$

Donde:

V*=Velocidad de corte

- τ_o = Esfuerzo cortante en el fondo
- ρ = Densidad del agua
- R = Radio hidráulico
- S_o = Pendiente del fondo del canal
- γ_s = Peso específico del sedimento seco
- γ = Peso específico del agua
- d = Diámetro de las partículas.

Cuando el sedimento no ha comenzado a moverse, la resistencia al flujo equivale a la de un fondo fijo. De allí que el fondo plano sin movimiento sea de interés solo para determinar las condiciones de movimiento incipiente. (Escuela Colombiana de Ingeniería. Centro de Estudios Hidráulicos y Ambientales SF).

Al iniciar el movimiento en un lecho de arena e ir aumentado la velocidad se presentan en ese orden las siguientes formas: arrugas, dunas, lecho plano, y antidunas. (FAO, 2017).

El cálculo de la pérdida de suelo a partir de la medida del movimiento de los sedimentos en las corrientes y los ríos tropieza con varios problemas. La realización de las mediciones lleva tiempo y resulta cara; su precisión puede ser baja; incluso si se dispone de datos correctos sobre el movimiento de una corriente no se sabe de dónde procede el suelo y cuándo se produjo el movimiento. Alguno de los problemas técnicos se examinan en Dickinson y Bolton (1992). Sin embargo, puede resultar útil hacer comparaciones del movimiento en diferentes corrientes, o en diferentes momentos del año, o de cuencas hidrográficas en las que se dan diferentes usos a la tierra. En el Capítulo 1 se explicó por qué unos datos cuantitativos necesitan pares de cuencas calibradas para que sean confiables y por qué se deben evitar los tratamientos "antes y después".

El movimiento de los sedimentos en las corrientes y ríos presenta dos formas. Los sedimentos en suspensión están constituidos por las partículas más finas mantenidas en suspensión por los remolinos de la corriente y sólo se asientan cuando la velocidad de la corriente disminuye, o cuando el lecho se hace más liso o la corriente descarga en un pozo o lago. Las partículas sólidas de mayor tamaño son arrastradas a lo largo del lecho de la corriente y se designan con el nombre de arrastre de fondo. Existe un tipo intermedio de movimiento en el que las partículas se mueven aguas abajo dando rebotes o saltos, a veces tocando el fondo y a veces avanzando en suspensión hasta que vuelven a caer al fondo. A este movimiento se le denomina saltación y es una parte muy importante del proceso de transporte por el viento; en la corriente líquida la altura de los saltos es tan reducida que no se distinguen realmente del arrastre de fondo.

Las cantidades relativas que avanzan en suspensión y el arrastre de fondo varían considerablemente. En un extremo, cuando el sedimento procede de un suelo de grano fino como el limo depositado por el viento, o una arcilla aluvial, el sedimento puede estar casi totalmente en suspensión. En el otro extremo, una corriente de montaña limpia y rápida puede tener cantidades insignificantes de materia en suspensión y casi la totalidad del movimiento de la grava, los guijarros y las piedras se produce en el lecho de la corriente. Concentraciones elevadas de sedimento como las que se dan en algunos ríos, como el río Amarillo de China y el Mississippi de los Estados Unidos, pueden causar cambios significativos en las propiedades de resistencia del agua. La viscosidad será mayor y la velocidad de asentamiento de las partículas inferior, por lo que el umbral entre el sedimento en suspensión y el arrastre del fondo resulta confuso.

El cálculo de la carga en suspensión por muestreo es relativamente sencillo, pero tomar una muestra representativa del arrastre de fondo resulta difícil. A continuación se examinan brevemente ambos tipos de muestreo, al igual que el cálculo del

movimiento total de sedimentos y las estimaciones basadas en mediciones de la cantidad de los depósitos en los pozos o los lagos . (FAO, 2017).

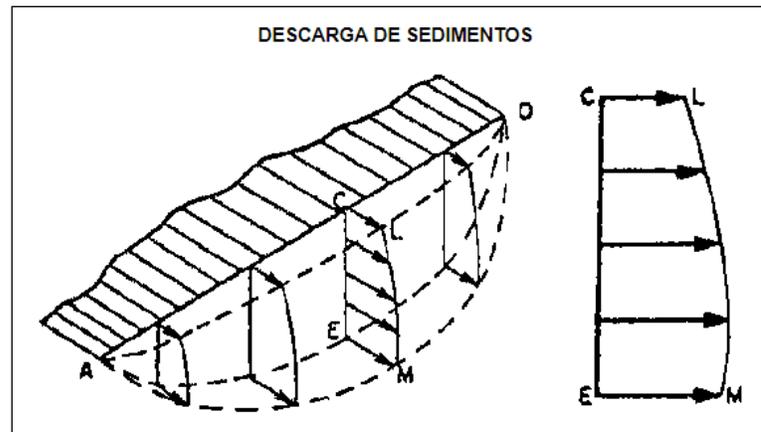


Figura 3.5 Modelo de descarga de sedimentos en ríos (FAO, 2017).

Existen varias causas posibles de error cuando se intenta de establecer una relación entre la cantidad del sedimento medido en las corrientes y la extensión de la erosión dentro de la cuenca hidrográfica.

En primer lugar, pueden existir cantidades importantes del material erosionado que no contribuyen al sedimento en la corriente debido a que se deposita antes de que llegue a ellas. La proporción de sedimento que llega a la corriente en comparación con el movimiento bruto de los sedimentos dentro de la cuenca se denomina relación de distribución. Esta puede ser apenas de 1% si existen depresiones o zonas con una espesa vegetación en las que se retiene la mayor parte del suelo. En un estudio de campo de 105 regiones de producción agrícola de los Estados Unidos, Wade y Heady (1978) descubrieron que las relaciones de distribución variaban entre el 0,1% y el 37,8% de la erosión bruta.

Una segunda causa posible de error es el factor tiempo. En una cuenca mayor el sedimento puede erosionarse y depositarse y sucesivamente volverse a erosionar y

volverse a depositar cierto número de veces antes de que el sedimento llegue a la corriente. Una muestra de este sedimento podría incluir material erosionado en su origen varios años antes.

La tercera dificultad radica en que el sedimento de la corriente incluye materiales que proceden de diferentes fuentes con relaciones de distribución muy distintas. El sedimento procedente del derrumbe de las orillas de las zanjas o de las riberas de los ríos pasa inmediatamente al caudal de la corriente, mientras que la pérdida de suelo de una pequeña superficie cultivada y dentro de una cuenca en la que predominan los bosques podría tener tasas de erosión local elevadas, pero contribuir poco a la carga total de sedimentos (FAO, 2017).

Los cálculos de la descarga total de sedimentos en las corrientes pueden efectuarse mediante estimaciones de la concentración de los sedimentos y de la velocidad de la corriente. La concentración de sedimentos varía asimismo, siendo normalmente mayor en el fondo, por lo que la cuantía de la descarga total de sedimentos es el producto de esas dos variables, como se indica en la Figura 3.5 (FAO, 2017).

3.2.8 Muestreo de sedimentos

La forma más sencilla de tomar una muestra de sedimentos en suspensión consiste en sumergir un recipiente en la corriente, en un punto en el que esté bien mezclada, como aguas abajo de un vertedero o de escollos de rocas. El sedimento contenido en un volumen medido de agua se filtra, se seca y se pesa. Esto da una medida de la concentración del sedimento y cuando se combina con el caudal se obtiene la tasa de descarga de sedimentos.

Un estudio de diversas técnicas de muestreo en Sudáfrica puso de manifiesto que las muestras obtenidas con botellas sumergidas suelen dar concentraciones

aproximadamente del 25% inferiores a las que se obtienen con técnicas más perfeccionadas (Rooseboom y Annandale 1981). Para muestras únicas tomadas excavando con palas o cucharas, se recomienda una profundidad de 300 mm por debajo de la superficie como una fórmula mejor que la de obtener muestras en la superficie. Si la muestra se puede tomar a cualquier profundidad, se recomienda la mitad de la profundidad del caudal dado que es la que permite obtener los mejores cálculos de la concentración media de sedimentos. Cuando el programa de muestreo consiste en muestras obtenidas en secciones verticales en diversos puntos a través de la corriente, el esquema recomendado consiste en utilizar seis secciones situadas a igual distancia como se muestra en la Figura 3.6 (FAO, 2017).

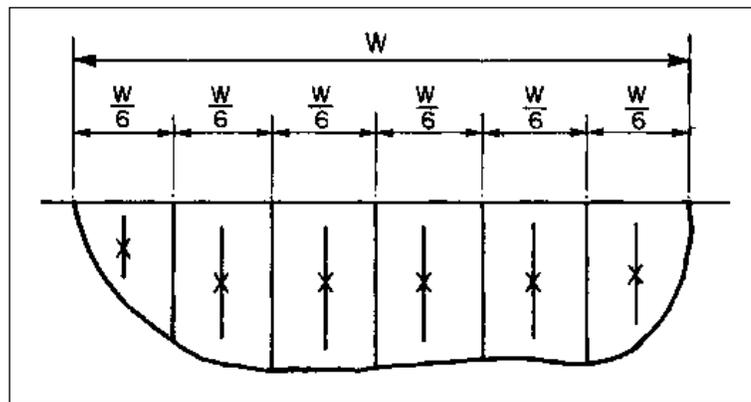


Figura 3.6 Esquema sugerido para el muestreo de sedimentos con puntos de muestreo a media profundidad del caudal (FAO, 2017).

3.2.8 Levantamiento batimétrico

Una batimetría se refiere al levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua, sea este el fondo del mar o el fondo de los lechos de los ríos, ciénagas, humedales, lagos, embalses, etc. es decir, la cartografía de los fondos de los diferentes cuerpos de agua. (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2014).

Al igual que en los levantamientos topográficos convencionales, se determinan las coordenadas X, Y y Z, esta última corresponde a las profundidades de los cuerpos de agua levantados.

De esta manera dependiendo del detalle con el que se lleve a cabo la batimetría (Figuras 3.7 y 3.8), se pueden describir los fondos y el relieve de los cuerpos de agua y todas aquellas anomalías que en ellos puedan existir. (IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2014).

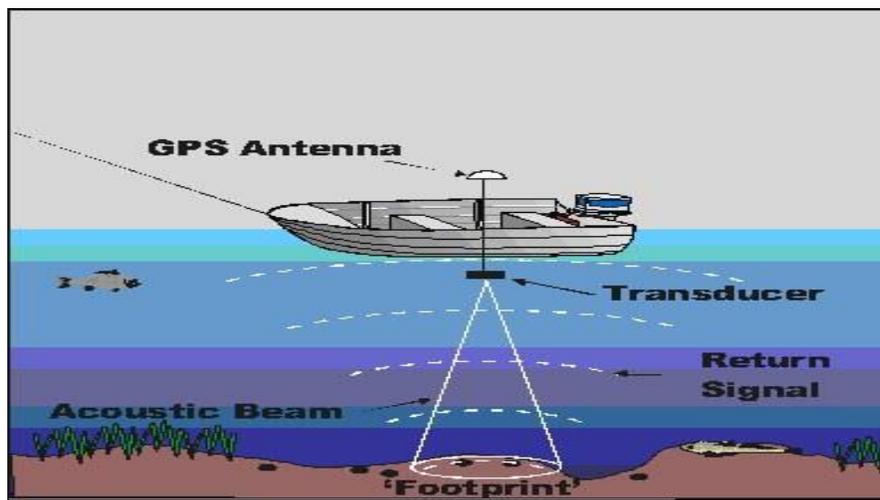


Figura 3.7 Representación de equipo para levantamientos batimétricos.

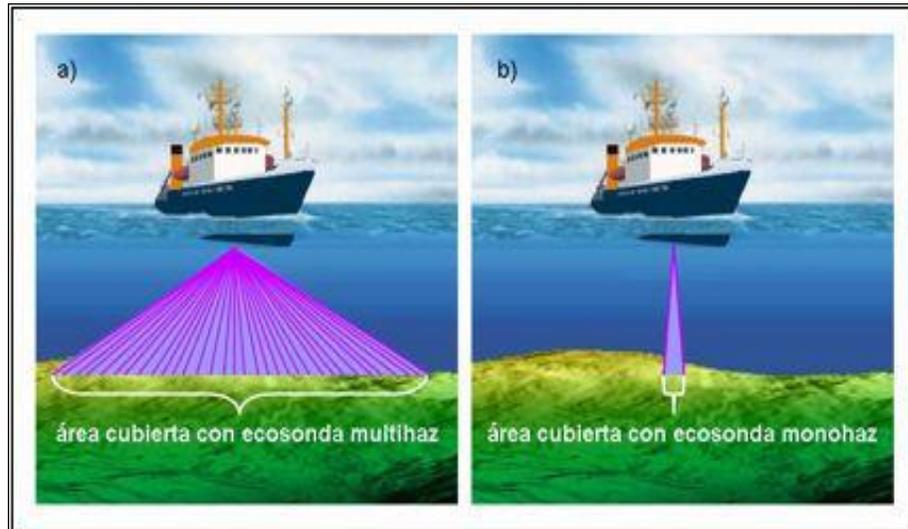


Figura 3.8 Representación de sondeo con: a) ecosonda multifrecuencia y b) con ecosonda monofrecuencia.

3.2.9 Formas del lecho

Los sucesivos y continuos procesos de erosión y sedimentación en las aguas de los ríos dan lugar a diferentes formas del lecho, con una redistribución de las partículas formando acumulaciones más o menos regulares, intercaladas por espacios sin ellas. En los tramos o ríos arenosos se desarrollan las denominadas rizaduras, dunas, lecho liso o antidunas, en función del tipo de régimen de los caudales

Muchos términos se utilizan para describir las formas del lecho. Las siguientes descripciones están basadas en las de las formas de ASCE en Canales Aluviales (1966). A excepción de los primeros dos términos, están presentado en orden del incremento de la velocidad de la corriente por unidad del área del lecho $\tau_0 U$, donde τ_0 es el límite de la tensión esquileo_y U es la velocidad.

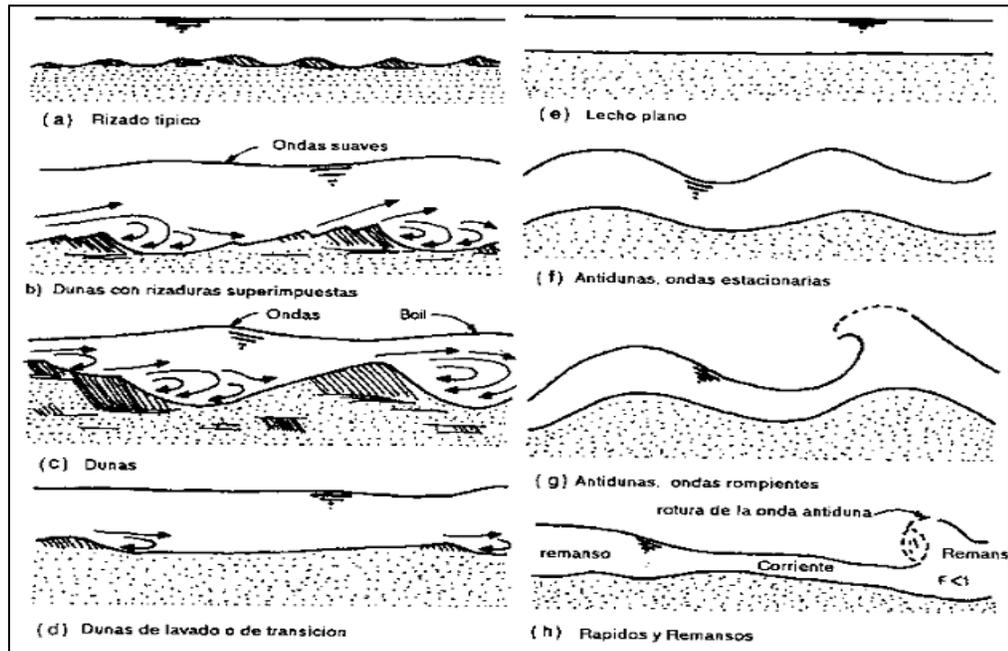


Figura 3.9 Formas del lecho idealizadas en canales aluviales. (Simons et al., 1966)

3.2. 9.1 Configuración del lecho

Se les denominan a todas las irregularidades de las partículas clasificadas más grande que forman el lecho y las configuraciones del mismo. Varios sinónimos de este término están en uso común con la literatura y entre trabajadores de campo. Algunos de ellos son: geometría del lecho, forma de la rugosidad del lecho, forma del lecho, régimen del lecho, fase del lecho, irregularidades del lecho, ondas de arena, formas de material del lecho, y forma del lecho.

3.2.9.2 Lecho plano

Un plano o lecho liso son lechos sin elevaciones o depresiones mayores que los granos más grandes de material.

3.2.9.3 Rizos o Ripples

También se le llaman a ésta categoría de formas de lecho ondas de arena, ondulaciones dejadas por la marea en la arena aproximadamente de 1 pies (30 Cm.) y alturas menores que muestran aproximadamente 0.115 pies (5 cm.). (Figuras 3.10 a 3.12). Los perfiles de las rizaduras son aproximadamente triangulares, con una pendiente de talud larga aguas arriba y corta hacia aguas abajo. (Yang, 1996).



Figura 3.10 Lecho de ondulación en canal de laboratorio (Yang, 1996).

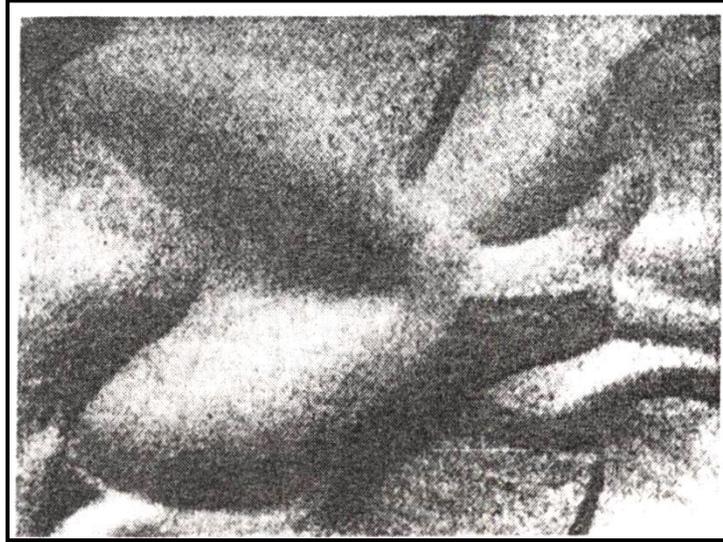


Figura 3.11 Modelo de ondulación típico, pétalo de Rosa (Yang, 1996).

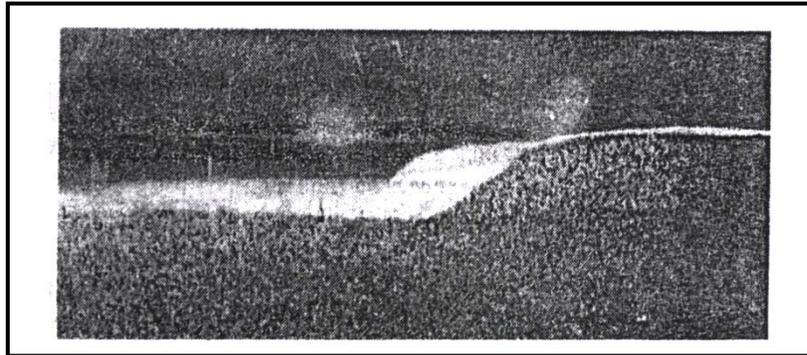


Figura 3.12 Sección longitudinal de ondulación de pétalo de rosa (Yang, 1996).

3.2.9.4 Barras

Algunos sinónimos de las barras son ondas de arena, bancos, arena los bancos y deltas. Las barras son las formas del lecho que tienen las longitudes del mismo orden o mayor que la anchura del canal, y alturas comparables para la profundidad promedio del flujo de generación. Existen varios tipos de barras:

- Barras de puntos: son depósitos de sedimentos que ocurren sobre el lado convexo o dentro de las curvas del canal. Su forma puede variar con la condición de flujo que cambia, para no moverse considerablemente en relación con las curvas. Sin embargo, la magnitud general y la posición de las barras varían con la carga. (Figura 3.13).

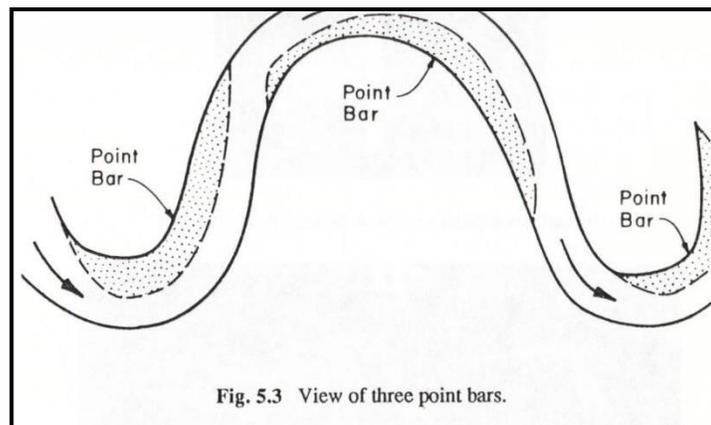


Figura 3.13 Vista de tres barras de punto (Yang, 1996).

- Barras Alternas: son distribuidas de vez en cuando a lo largo de un banco y luego a lo largo de un canal. Su grado lateral es considerablemente menor que la anchura del canal. Las Barras alternas se mueven de una manera lenta río abajo. (Figura 3.14).

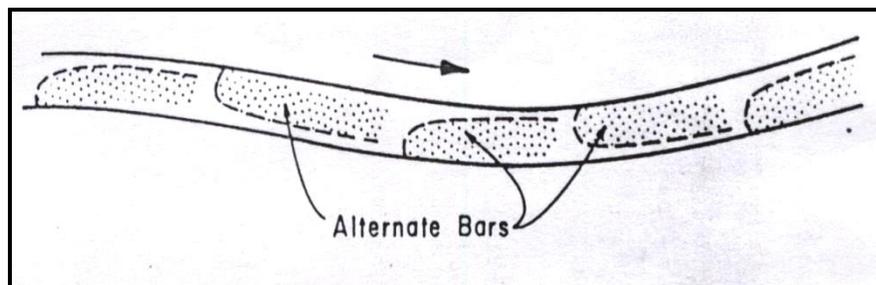


Figura 3.14 Vista aérea de barras alternantes en un alcance directo uniforme (Yang, 1996).

- Barras transversales: ocupan casi la anchura de canal lleno. Ellos ocurren ambos y como formas periódicas a lo largo de un canal, y se mueven río abajo.
- Barras tributarias: ocurre inmediatamente río abajo del tributario en el flujo a un canal. En secciones longitudinales, las barras tributarias son aproximadamente triangulares, con corriente larga apacible arriba que se inclina y las vertientes cortas río abajo. Estas vertientes son aproximadamente iguales al ángulo de reposo del material del lecho. Las barras generadas por altos flujos con frecuencia aparecen como pequeñas islas durante flujos bajos. Las partes de la corriente arriba, las vertientes de las barras a menudo son cubiertas de ondulación y dunas.

3.2.9.5 Dunas

A veces se les denomina ondas de arena, barras de arena o dunas; pero en general las dunas como término son aceptadas por ingenieros, representan una categoría de configuración del lecho, las características de cual siguen. Las dunas son formas del lecho más pequeñas que las barras, pero más grandes que la ondulación. Su perfil es desfasado con el perfil superficial de agua. (Figura 3.15).

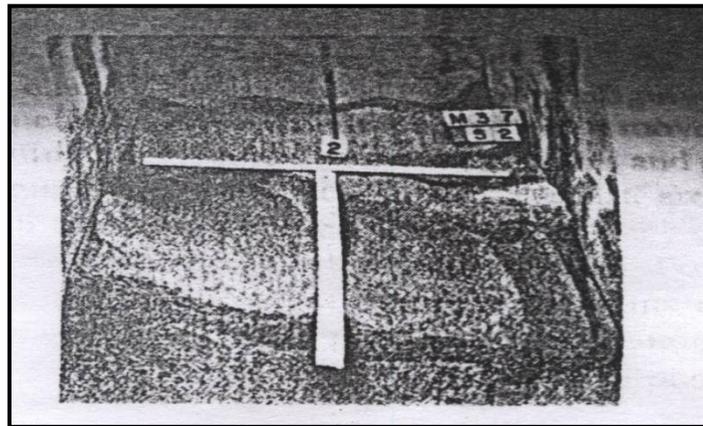


Figura 3.15 Dunas gramaticalmente correctas en un canal de laboratorio. (Yang, 1996).

3.2.9.6 Transición

Los sinónimos de transición son ondas de arena y dunas descoloridas. Estos son configuraciones del lecho que consisten en una serie heterogénea de formas del lecho, principalmente de amplitud baja, dunas y áreas planas. (Figura 3.16).

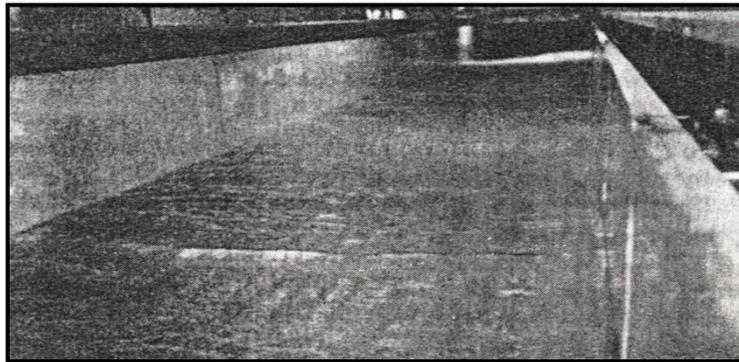


Figura 3.16 Configuración de transición en un ensayo de laboratorio. El flujo es hacia el observador (Yang, 1996).

3.2.9.7 Antidunas

Son las formas del lecho que pueden desarrollarse separadamente o en trenes, algunos de ellos están en fases y actúan fuertemente con ondas de superficie del agua y de la gravedad.

También se les llaman ondas permanentes u ondas de arena. (Figura 3.17).

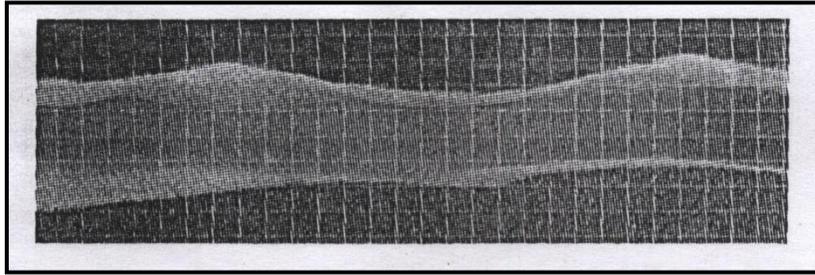


Figura 3.17 Vista lateral de antidunas y acompañamiento de ondas en fase de inmóviles en un laboratorio. La dirección de flujo es de izquierda a derecha.(Yang, 1996).

3.2.9.8 Pozas

En vertientes muy escarpadas, el flujo de canal de fondo de la arena se cambia a tolvas y fondos. En el ensayo grande de 8-pies de ancho, este tipo de flujo y la configuración del lecho ocurrieron sólo usando la arena de playa media y fina ($D_{50} < 0.4\text{mm}$). El flujo de tolva-y-fondo no podía ser logrado usando arena más gruesa de playa porque la vertiente más escarpada requerida no podía ser instalada en el ensayo.

3.2.9.9 Régimen de flujo

Según Yang (1996), el flujo en canales de lecho arenoso puede ser clasificado en régimen de flujo bajo y régimen de flujo alto, con uno de transición entre ellos. Las formas del lecho asociadas con estos regímenes de flujo son los siguientes:

- a. Régimen de flujo bajo: Rizaduras y dunas
- b. Zona de Transición: Rango de configuraciones del lecho desde dunas a lecho plano o a antidunas.

c. Régimen de flujo alto: Lecho plano con movimiento de sedimentos, antidunas, antidunas rompientes, ondas estacionarias, rápidos y pozas.

3.2.9.10 Análisis teórico de las formas del lecho

De acuerdo a la importancia de las formas del lecho para la resistencia al flujo y para el transporte de sedimentos, varios intentos se han ejecutado para predecir el tipo y dimensiones de las formas del lecho bajo diferentes condiciones de sedimentos y flujo. Muchos de los análisis han sido de naturaleza empíricos. Los análisis teóricos han asumido la idealización de flujo bidimensional potencial o la ecuación de continuidad para el transporte de sedimento. Un ejemplo clásico basado en la continuidad del movimiento de las formas del lecho es el trabajo de Exner (1925).

Considera el movimiento de una duna en una dirección aguas abajo como se muestra en la figura 3.18. La ecuación de continuidad para el movimiento de las formas del lecho es:

$$\gamma_s \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \quad (3.2)$$

Donde

γ_s = peso específico del sedimento

y = elevación del lecho

t = tiempo

q_s = descarga de sedimento por unidad de ancho del canal

x = distancia aguas abajo

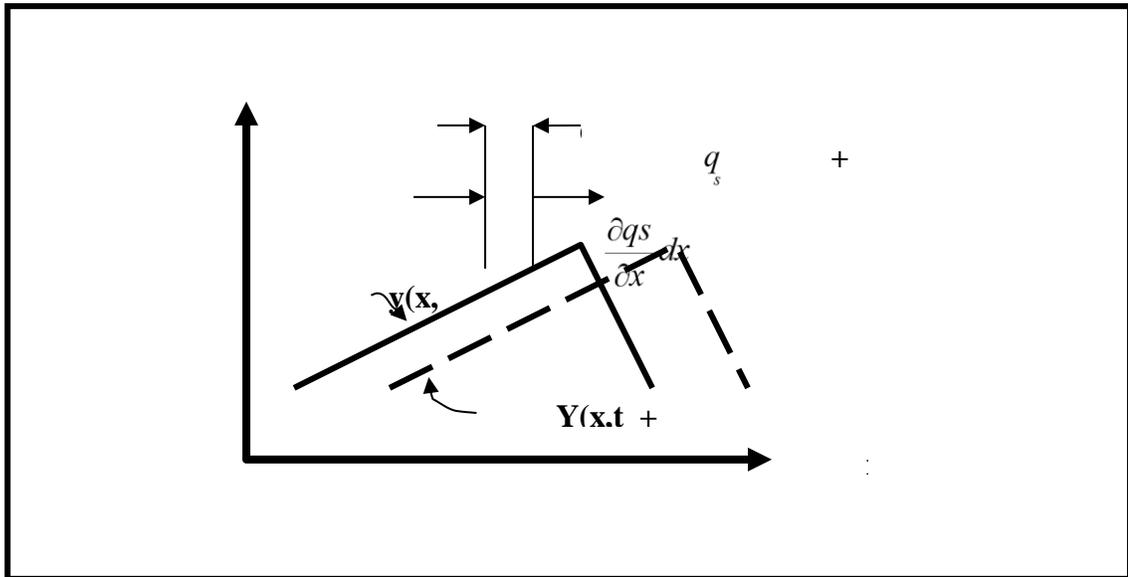


Figura 3.18 Formas del lecho moviéndose en dirección aguas abajo. (Yang, 1996)

3.2.9.11 Análisis empírico y gráfico de las formas del lecho

La aproximación teórica establecida en la sección previa está limitada a algunas condiciones simplificadas e idealizadas de flujo. Sus soluciones no pueden predecir la variación de las formas del lecho bajo las condiciones actuales del flujo y sedimentos. Consecuentemente, más métodos de predicciones de formas del lecho están basados en análisis empíricos y semi-empíricos de datos de canales de laboratorio.

Engelund y Hansen (1966) estudiaron la estabilidad de las formas del lecho en canales de laboratorio, y graficaron los resultados mostrados en la figura 3.15. Para unas condiciones hidráulicas dadas, tales como número de Fraude (Fr), velocidad promedio del flujo (V), y velocidad de corte (U_*), puede ser usado para determinar las formas del lecho en canales de laboratorio.

Simons y Richardson (1966) graficaron la potencia del río τV contra el diámetro medio de caída de las partículas de los sedimentos para canales de laboratorio y algunos

datos de canales reales como se muestra en la figura 3.19. Esta figura puede ser usada para la determinación de formas del lecho en canales de laboratorio y pequeños ríos.

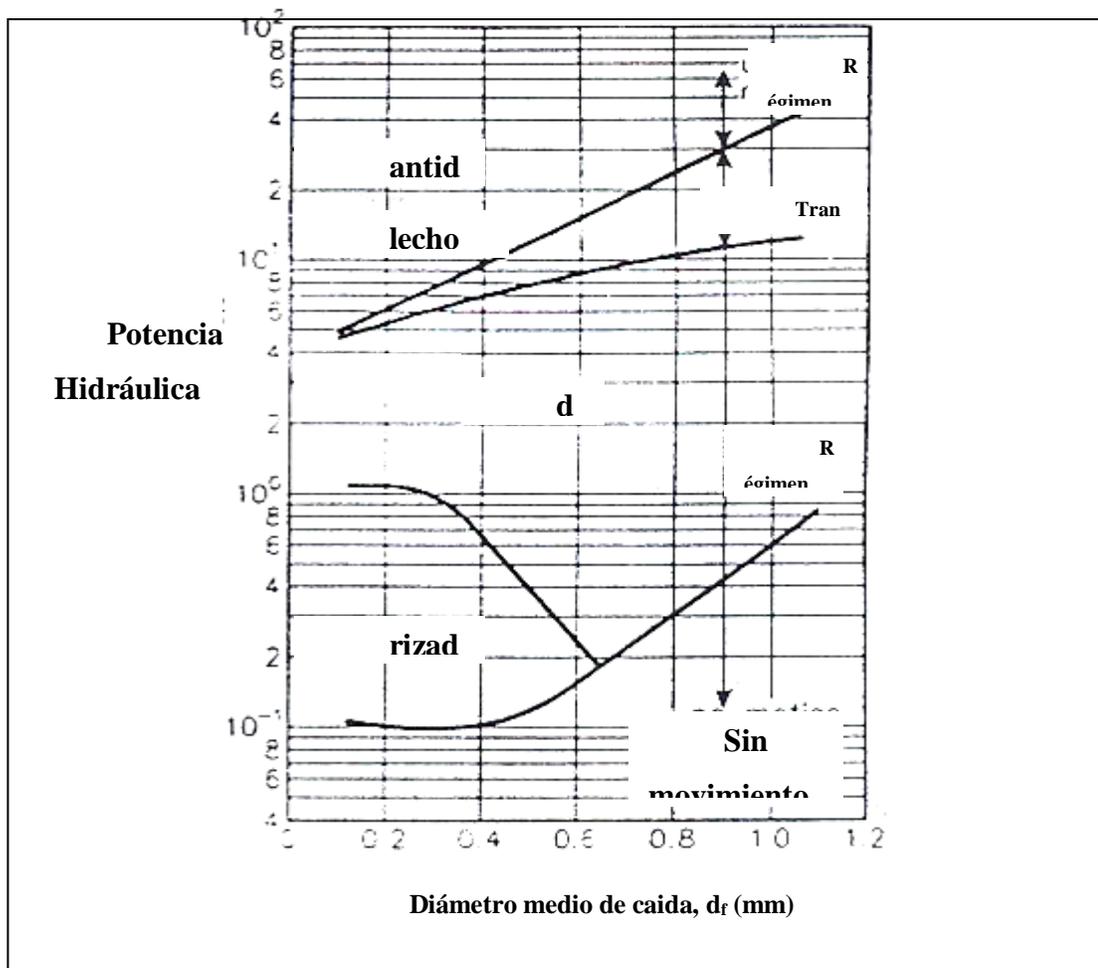


Figura 3.19 Relación de las forma del lecho con la potencia del río y el diámetro medio de caída de los sedimentos del lecho (Simons y Richardson, 1966 en Yang, 1996)

Una evaluación de diferentes análisis gráficos de las formas del lecho ha sido dada por Simons y Sentürk (1977) (Tabla 3.1)

Tabla 3.1 Evaluación de diferentes análisis gráficos (Simons y Sentürk, 1977 en Yang, 1996).

Variabes	Investigador	Comentario
$(U^* d_{50}) / v$, U^* / ω	Liu (1957), Albertson et al. (1958)	Criterio basado en datos de laboratorio. No predice bien datos de campo
$\tau / [(\rho_s - \rho)g d_{50}]$, $V / (gR)^{1/2}$	Garde y Albertson (1959)	Criterio que no predice bien datos del Río Grande
R / d_{50} , $[S / (\rho_s - \rho)] / \rho$	Garde y Raju (1963)	
$g d_{50} / U^*$, d_{50}	Bogardi (1958)	Dificultades usando el mismo criterio para datos de laboratorio y campo
τ , V , d_{50}	Simons y Richardson (1966)	Dificultades usando el mismo criterio para datos de laboratorio y grandes ríos, pero la relación trabaja bien para pequeños ríos.
U^* / ω , S	Athallah (1968)	Falla para discriminar entre las formas del lecho en sistemas naturales
$\tau / (\gamma_s d_{50})$, $d / \omega / v$	Senturk (1973)	Define formas del lecho de acuerdo a su resistencia a fluir. Falla para definir antidunas

3.2.9.11 Factores que afectan las formas del lecho

El análisis teórico de formas del lecho no puede ser aplicado a estudios de campo directamente para la predicción de las formas del lecho, porque es difícil satisfacer las asunciones usadas en el análisis. Los resultados de los análisis empíricos o gráficos de datos de laboratorio no pueden ser aplicados a condiciones de campo con confiabilidad, porque estas condiciones son mucho más complejas que las observadas en canales de laboratorio. Los factores que afectan las formas del lecho y la resistencia al flujo incluyen (pero no son limitantes) la profundidad del agua, pendiente, densidad del fluido, concentración de material fino, tamaño de los materiales del lecho, gradación del material del lecho, velocidad de caída de las partículas de los sedimentos,

forma de la sección transversal del canal, y fuerzas de filtración. Algunas tendencias generales de los efectos de estos factores en las formas del lecho y resistencia al flujo pueden ser resumidos como sigue (Simons y Sentürk, 1977 en Yang, 1996).

a. Profundidad: La profundidad del agua esta relacionada con la profundidad relativa D/d , o rugosidad relativa d/D , y la distribución de la velocidad del flujo. Un incremento en la profundidad del agua puede causar un lecho de dunas y llegar a ser un lecho plano o antiduna. Una disminución en la profundidad puede revertir el proceso. Un ejemplo del efecto del cambio de la profundidad o radio hidráulico en las formas del lecho y en la velocidad de flujo es mostrado en la figura 3.30. Para un lecho plano, un incremento en la profundidad causa disminución en la rugosidad relativa y en la resistencia al flujo. Para una rizadura o lecho plano, la resistencia al flujo disminuye con el incremento de la profundidad. Para una antiduna, la resistencia al flujo se incrementa primero y luego disminuye con el incremento de la profundidad.

b. Pendiente: Para una profundidad constante, un incremento en la pendiente del canal o en la energía puede cambiar todas las formas del lecho de las de bajo régimen de flujo hasta las de alto régimen de flujo. La resistencia al flujo es una función de la pendiente de energía aún más si la forma del lecho permanece invariable. Para un lecho de rizadura con poca profundidad, la resistencia al flujo se incrementa con el incremento de pendiente, y no es sensible a cambios de pendiente con flujos profundos. Para un lecho de dunas, la resistencia al flujo generalmente disminuye con el incremento de la pendiente cuando la profundidad es poca, y puede incrementarse moderadamente con incremento de la pendiente cuando la profundidad es grande.

c. Densidad: un incremento en la concentración de los sedimentos finos incrementará la densidad de la mezcla agua-sedimento, y disminuye el peso sumergido del sedimento y la resistencia al flujo.

d. Tamaño del material del lecho: un cambio del material del lecho puede

cambiar la rugosidad del grano y la distribución vertical de la concentración de sedimentos.

e. Gradación del material del lecho: las formas del lecho de material uniforme es mas regular y su resistencia al flujo es mayor que la de material gradado con el mismo tamaño medio de la partícula.

f. Velocidad de caída: esta es una de las variables primarias que determina la interacción entre las partículas del sedimento y el fluido. Un incremento en la velocidad de caída puede aumentar la resistencia al flujo y cambiar la forma del lecho de rizaduras a dunas. También se observa que ninguna rizadura puede ser encontrada con diámetros de caída más grandes de 0.6 mm.

g. Forma de la sección transversal del canal: La forma de la sección transversal del canal afecta la velocidad y distribución del esfuerzo cortante. Las distribuciones no uniformes de la velocidad y del esfuerzo cortante pueden causar múltiples formas del lecho coexistiendo transversalmente y a lo largo del canal.

h. Flujo de filtraciones: el flujo de filtraciones dentro del canal puede reducir el peso efectivo de las partículas de los sedimentos y la estabilidad de los mismos. El flujo de sedimentos dentro de los bancos y fondo del río tiene el efecto opuesto.

Van Rijn (1984, 1989) al igual que otros autores usó datos de campo y datos de canales de laboratorio para el desarrollo de sus diagramas de clasificación.

De acuerdo a Van Rijn, las formas del lecho del tipo de dunas asimétricas con una longitud de escala mucho más grande que la profundidad del agua son las características dominantes para un Parámetro de estado del movimiento (T) menor o igual a 15. Los mega rizos y los mini rizos pueden estar super-impuestos a las dunas

para un T mayor de 3 y menor de 10 y un Tamaño adimensional de la partícula $D^* \leq 10$. Los mega rizados son rizados con una escala de longitud del orden de la profundidad del agua; los mini rizados tienen una escala de longitud del orden cercano al de la turbulencia del lecho. Los mini rizados son dominantes con características de $T < 3$ y $D^* < 10$.

El régimen de transporte superior es el que está definido para ocurrir para $T \geq 25$, está caracterizado por un transporte de carga suspendida dominante. Las características de las formas del lecho están cercanas a las ondas de arena simétricas con una escala de longitud mucho más grande que la profundidad del agua, las ocurren en ríos grandes con relativamente pequeños números de Froude ($Fr \leq 0.8$), asimismo, el lecho plano y ondas de arena (también llamadas antidunas) son generadas en pequeños ríos con un relativamente alto número de Froude ($Fr \geq 0.8$). (Figura 3.20)

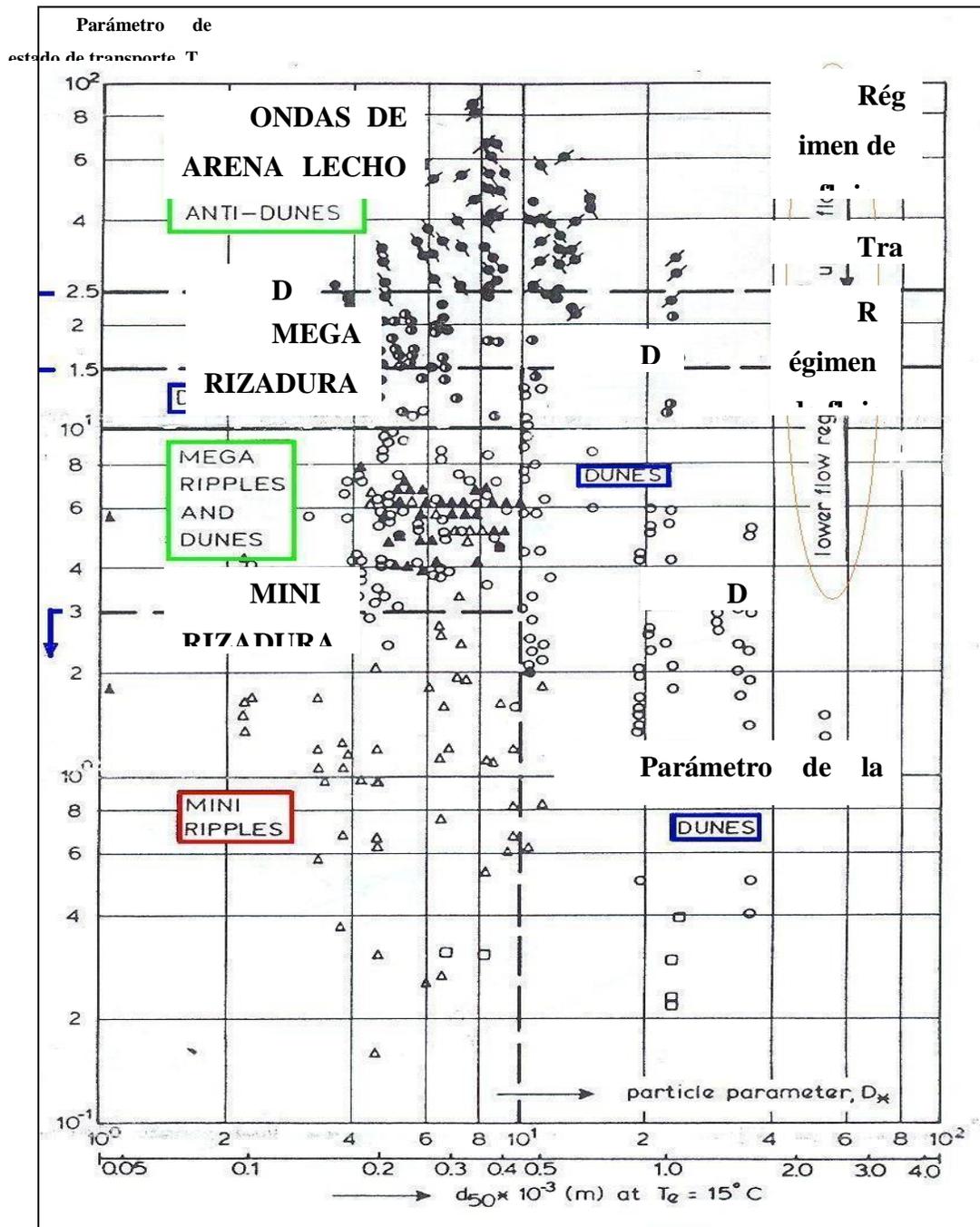


Figura 3.20. Diagrama de clasificación de formas del lecho para corrientes. (Van Rijn, 1984,1989).

3.3 Bases legales

Existen numerosas normas, decretos y leyes que forman parte del actual marco legal vigente de la República Bolivariana de Venezuela que tienen relación con la investigación que se trata en este documento, sin embargo, se considera que la Ley de Aguas tiene especial identificación con el tema tratado.

Artículo 18.- El manejo de las aguas comprenderá la conservación de las cuencas hidrográficas, mediante la implementación de programas, proyectos y acciones dirigidos al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales. La conservación de las cuencas hidrográficas considerará las interacciones e interdependencias entre los componentes bióticos, abióticos, sociales, económicos y culturales que en las mismas se desarrollan.

También es de importante impacto en el tema tratado en esta investigación es la Ley Orgánica de espacios acuáticos:

Artículo 68. La promoción y ejecución de la investigación científica en los Espacios Acuáticos, Insulares y Portuarios deberán ajustarse a los lineamientos del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación y del Plan Nacional de Desarrollo del Sector Acuático. La realización de proyectos o actividades de investigación científica por parte de personas naturales o jurídicas, podrá ser negada por los órganos competentes, cuando:

1. El proyecto guarde relación directa con la exploración o explotación sostenible de los recursos naturales, entrañe perforaciones, utilización de explosivos o la introducción de sustancias o tecnologías que puedan dañar el ambiente marino.

2. Involucre la construcción, el funcionamiento o la utilización de las islas artificiales, instalaciones, estructuras y dispositivos, cualesquiera sea su función.

3. Sea contrario al interés nacional.

4. Obstaculice indebidamente actividades económicas que la República Bolivariana de Venezuela lleve a cabo con arreglo a su jurisdicción y según lo previsto en la ley.

Autorización

Artículo 69. Las investigaciones científicas a ser realizadas en los espacios acuáticos de la República Bolivariana de Venezuela, deberán contar con la autorización correspondiente de los organismos competentes, los cuales en el ejercicio de sus atribuciones coordinarán la procedencia de la misma, de conformidad con la ley.

3.4 Definición de términos básicos

a. 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).

b. Los sedimentos gruesos (arenas y grabas): son transportados por tracción sobre el fondo, se desplazan manteniendo contacto con el fondo del cauce bien sea por rodamiento, deslizamiento o por saltación. (Rodríguez y Ferrer, op. cit).

c. 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).

d. Carga de fondo: es un conjunto de materiales transportados. (Rodríguez y Ferrer, op. cit).

e. 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).

f. 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).

g. 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).

h. 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:

$$i. \quad Q = A * V \dots \dots \dots (3.7)$$

Donde:

Q= Caudal

A= Área de la sección (Chow, 1994).

j. 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).

k. 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).

l. 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

El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno, pudiendo ser, exploratorio, descriptivo, analítico, explicativo, predictiva o evaluativa. (Hurtado de Barrera, 2000). en este caso el nivel de esta investigación es de tipo descriptiva, ya que se describirán las variables sin manipularlas.

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

Según Canales (1996), dentro de su clasificación, este tipo de investigación estaría basada en estudios descriptivos, ya que se describirán los hechos tal cuales se observan en campo.

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

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de campo y constituye un plan estructurado de acción que en función de unos objetivos básicos está orientado a la obtención de datos relevantes a los problemas e indicadores planteados. El diseño de investigación de campo se explica según el criterio de Hernández y Otros (1996: 53), como:

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

Acuña (2000:41), se refiere a este nivel de investigación como un proceso sistemático, riguroso y racional de recolección, tratamiento, análisis y presentación de datos, basados en una estrategia de recolección, directa de la realidad de las informaciones necesarias para la investigación.

La presente investigación se considera de campo, ya que se realizará la recolección de datos en el lugar objeto de la investigación y porque se analizaron muestras de sedimentos que han sido tomadas del cauce del río Orinoco en el sector Punta Cuchillo.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

Se entiende por población el conjunto finito o infinito de elementos con características comunes, para los cuales serán extensivas las conclusiones de la

investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos del estudio". (Arias, F. 2006).

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

La población a ser considerada como objeto de estudio es todo el cuerpo de agua del sector Punta Cuchillo del río Orinoco y todos los suelos que forman parte del lecho en dicho sector.

4.3.2 Muestra de la investigación

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

Debido a la naturaleza infinita de la población en cuanto a sedimentos se refiere, se ha decidido que la muestra no será de carácter probabilístico, ya que sería económica y físicamente inviable la toma, transporte y análisis de la cantidad de muestras necesarias (384 especímenes) para que se considere como un muestreo probabilístico. Por otra parte, las muestras deberán ser analizadas en laboratorios privados, dada la inoperatividad que para el momento de elaboración de este estudio, presentan las instalaciones de los laboratorios de Suelos de la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente.

En vista de ello, y dado el carácter homogéneo del lecho, la cantidad de muestras (cinco -5-) a tomar dentro de la zona será de carácter intencional u opinático (es decir, será a criterio del investigador), debido a que se recolectarán una cantidad limitada de muestras del lecho; sin embargo, se procurará distribuir los sitios de muestreo uniformemente en el área de estudio, de tal manera pues que dada la homogeneidad de los materiales del lecho, exista la misma posibilidad de tomar cualquier porción durante la extracción de las mismas.



Figura 4.1 Ubicación de los puntos de muestreo.

Tabla 4.1 Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.

Muestra	Este	Norte
M1	511606	913803
M2	512399	915177
M3	512801	914290
M4	513519	915484
M5	514274	914595
Nota: Huso 20, elipsoide WGS-84		

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para obtener información relevante proveniente de la realidad objeto de estudio será necesario utilizar distintas técnicas e instrumentos de recolección de datos para cumplir con las metas propuestas.

4.4.1 Técnicas de investigación

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

Para la recolección de la información se pretenden emplear diversas técnicas para lograr una investigación completa, de manera que se generen las respuestas a los objetivos planteados en este trabajo. Estas técnicas son las siguientes: revisión bibliográfica, observación directa y medición de los datos en campo.

4.4.1.1 Observación directa.

Tamayo y Tamayo, (2006), definen 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.

4.4.1.2 Revisión literaria

La revisión literaria, permitirá extraer las bases teóricas y los antecedentes del problema de investigación, sirviendo como herramientas documentales que sustenten el trabajo propuesto, como lo expresan Tamayo y Tamayo, (2006): “la revisión Literaria es el fundamento de la parte teórica de la investigación y permite conocer a nivel documental las investigaciones relacionadas con el problema planteado”.

4.4.1.3 Entrevistas no estructuradas

La realización de entrevistas es una técnica de recolección muy significativa, a través de ésta se obtendrá información valiosa y de interés, permitiendo aclarar las dudas existentes sobre el tema en estudio.

Tal como lo expresa Sabino, C. (2006): “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 geomorfológica temporal del área de estudio.

4.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados fueron:

- a. Lancha hidrográfica,
- b. Muestreador de fondo marca Hydroproduct,

- c. Posicionador satelital global (GPS),
- d. Ecosonda marca Raytheon modelo 719B,
- e. Cámara fotográfica,
- f. Equipo de laboratorio de suelos
- g. Equipos de ofimática (microcomputador, impresora, escaner, programas, entre otros).

4.5 Flujograma de la investigación

Para la realización de esta investigación se seguirá el flujograma (Figura 4.1) que implica las actividades a realizar necesarias para el logro de los objetivos específicos planteados.

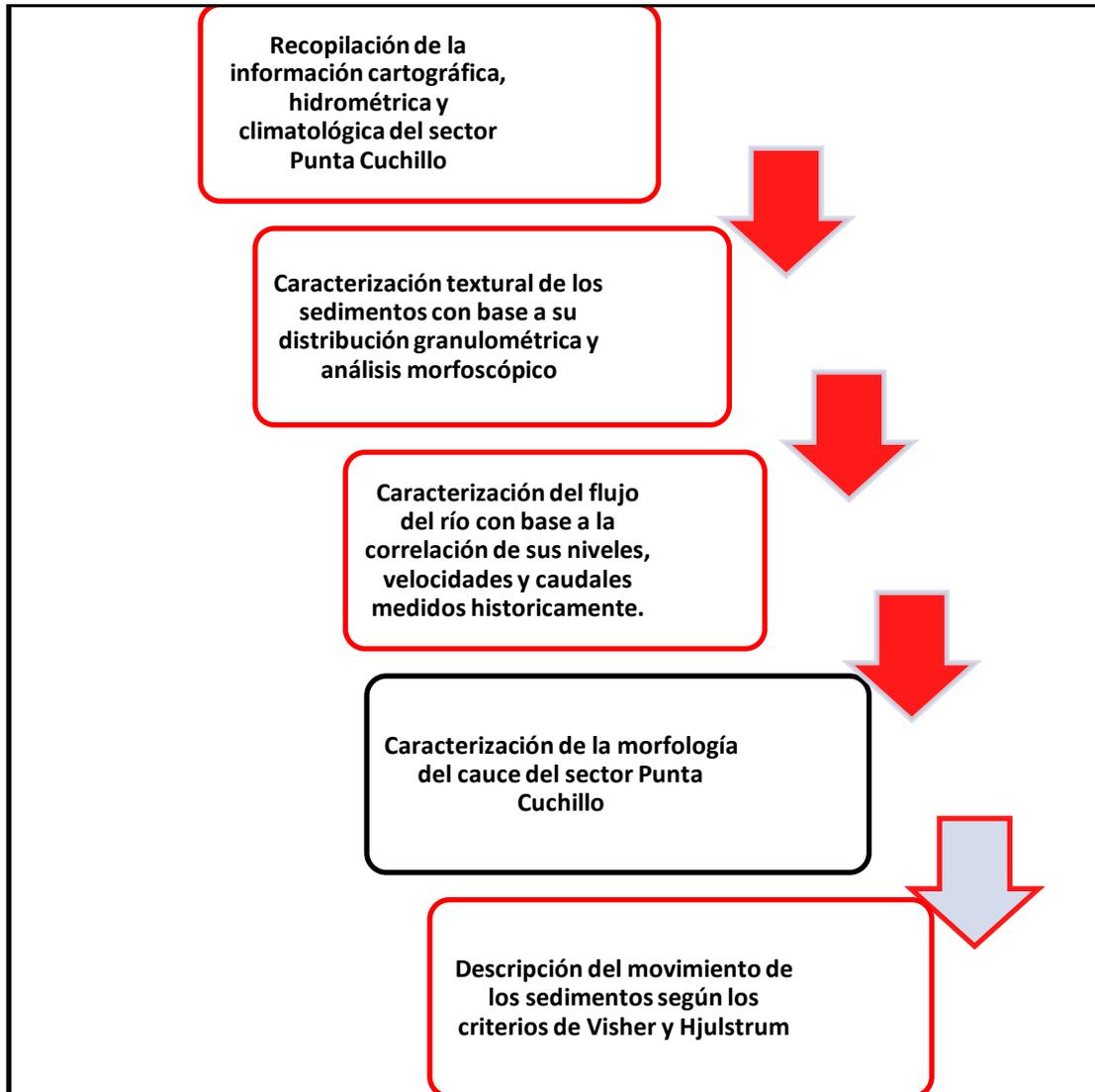


Figura 4.1 Flujograma de la investigación.

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 climática del área de estudio

A tal efecto, se recopilará la información climatológica que es acopiada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), correspondientes a las estaciones cercanas al área de estudio. En ese sentido, se ha considerado que una de las estaciones climatológicas más importantes a la zona de estudio es administrada por CORPOELEC quien a su vez consigna estas mediciones a la citada Corpoelec.

Sin embargo, en las revisiones efectuadas a la página web del INAMEH se ha detectado que las bases de datos publicadas por este ente estatal tienen una antigüedad alrededor de una década.

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

Para realizar la caracterización textural de los sedimentos presentes en el sector se efectúa un muestreo no probabilístico, de carácter opinático que está constituido por cinco (5) ejemplares tomados en el fondo del cauce de la zona de estudio. Las muestras son debidamente envasadas e identificadas y luego trasladadas hasta las instalaciones de laboratorios de suelos privados, donde se les realizará análisis granulométrico por tamizado de acuerdo a la norma ASTM D 422, y análisis morfosκόpicó. Asimismo, los análisis de laboratorio de las muestras serán realizados en el laboratorio de contingencia de la Escuela de Ciencias de la Tierra del Núcleo Bolívar.

4.6.3 Descripción de las condiciones del flujo del río con base a los niveles de la superficie del agua y a los caudales

Con base a los registros históricos de aforos efectuados en la zona de estudio suministrados por la CVG Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco (CVG-

GCNO), se realizará una correlación entre los parámetros fundamentales medidos tales como los niveles del río, caudales y velocidades de corrientes. Esta correlación permitirá así conocer la fuerza y dirección de la relación lineal y proporcionalidad de las variables antes mencionadas.

4.6.4 Caracterización del movimiento de los sedimentos del río

Para el logro de este objetivo se le dará especial importancia a dos (2) criterios fundamentales: el método basado en la velocidad del flujo (Hjulström) y el otro método basado en el esfuerzo cortante requerido para determinar el mecanismo predominante responsable del transporte de los sedimentos (Visher).

a) De acuerdo al criterio de Hjulström

Para la determinación de la velocidad mínima necesaria de flujo requerida para que se produzca el movimiento incipiente de las partículas se utilizará el criterio de Hjulström utilizando para ello el diagrama respectivo de este modelo. Para su determinación se introduce por el eje de las abscisas, el diámetro medio (d_{50}) de las partículas y se asciende verticalmente hasta interceptar la curva del modelo que separa las zonas de erosión y transporte. Luego, desde este punto de corte, se desplaza hacia el eje de las ordenadas encontrando la velocidad mínima necesaria para arrancar las partículas del lecho y se inicie el movimiento de las partículas.

b) De acuerdo al criterio de Visher.

Utilizando los datos de los análisis granulométricos de las partículas se construirá curvas relacionando el porcentaje retenido versus el diámetro de los tamices utilizados. Dicha curva permitirá (previo trazado de las líneas tangentes a la curva) determinar los

porcentajes de forma de transporte predominante (tracción, saltación o suspensión) de acuerdo al criterio de Visher.

4.6.5 Describir la morfología del cauce del río Orinoco en el área de estudio

Haciendo uso del perfil longitudinal del lecho y del modelo digital del terreno del cauce construido a partir del plano batimétrico cedido en préstamo por la CVG GCNO, se puede hacer una descripción aproximada de las condiciones del cauce del río Orinoco en el área de estudio.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Caracterización climática del área de estudio

Para el área de estudio se han revisado las condiciones del clima, con base en el análisis temporal de precipitación, evaporación, temperatura, insolación, humedad relativa y viento, para lo cual se utilizaron los datos de registrados en las estaciones dentro del área de influencia inmediata.

Para establecer las características del clima se efectuó un análisis cuantitativo, con base en los datos de los promedios mensuales y anuales de los parámetros registrados en las estaciones meteorológicas Macagua y Puerto Ordaz, cuyos datos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y CORPOELEC. Asimismo, se presentarán los registros históricos de la estación automática es.weatherspark.com (2022) la cual presenta el clima típico en Ciudad Guayana, basado en un análisis estadístico de informes climatológicos históricos por hora y reconstrucciones de modelos del 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre de 2016.

En la tabla 5.1, se muestran las características de las estaciones mencionadas.

Tabla 5.1 Características de las estaciones climatológicas utilizadas (INAMEH, 2017).

Estación	Tipo	Serial	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Organismo
Macagua	C1	8106	08°17'29''	62°39'21''	79	CORPOELEC
Puerto Ordaz R-A	C2	3813	08°19'00''	62°43'00''	51	INAMEH

El área de estudio se enmarca en la zona de vida Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge.

En el área de estudio se recibe una pluviosidad promedio alrededor de los 1.088 mm anuales, la temperatura media anual oscila alrededor de los 27°C y su evaporación promedio supera los 2.200 mm por año. De acuerdo con esto, el área se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi), caracterizado por presentar un período de lluvia y otro de sequía, bien definidos, con una oscilación térmica promedio inferior a los 5 °C.

5.1.1 Precipitación

El valor promedio anual de precipitación para la zona del proyecto es de 1000 mm, el cual fue estimado a partir de los promedios anuales de las estaciones localizadas alrededor del área de estudio. En la tabla 5.2, se muestran los promedios mensuales y el total anual de precipitación para el período 1950-2011; con base en ellos se elaboró la figura 5.1.

El régimen pluviométrico es de tipo unimodal, es decir, se registra un solo tope de lluvia durante el año. Este ocurre en los meses del verano astronómico (junio, julio y agosto), lo cual corresponde con la época de mayor actividad de la convergencia intertropical, responsable directa de la distribución temporal de las lluvias en el territorio venezolano.

En estos tres (3) meses se recoge más del 54% del volumen total de precipitación anual. El valor más bajo de precipitación se registra en los tres (3) primeros meses del año (enero, febrero y marzo).

Tabla 5.2. Precipitación media mensual y anual (mm). Período 1950-2011 (INAMEH, 2017).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Puerto Ordaz R-A	36,3	27,3	21,5	28,7	89,9	179,3	162,6	133,9	83,7	81,6	83,2	69,3	997,4

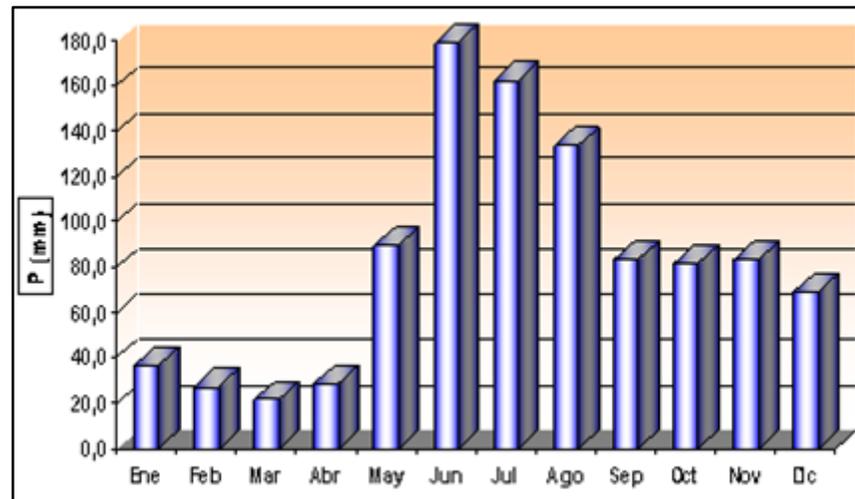


Figura 5.1 Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Puerto Ordaz (INAMEH, 2017).

Por otra parte, de acuerdo a la es.weatherspark.com (2022), la temporada más mojada dura 6,8 meses, de 14 de mayo a 7 de diciembre, con una probabilidad de más del 34 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Ciudad Guayana es julio, con un promedio de 18,3 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca dura 5,2 meses, del 7 de diciembre al 14 de mayo. El mes con menos días mojados en Ciudad Guayana es marzo, con un promedio de 2,6 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

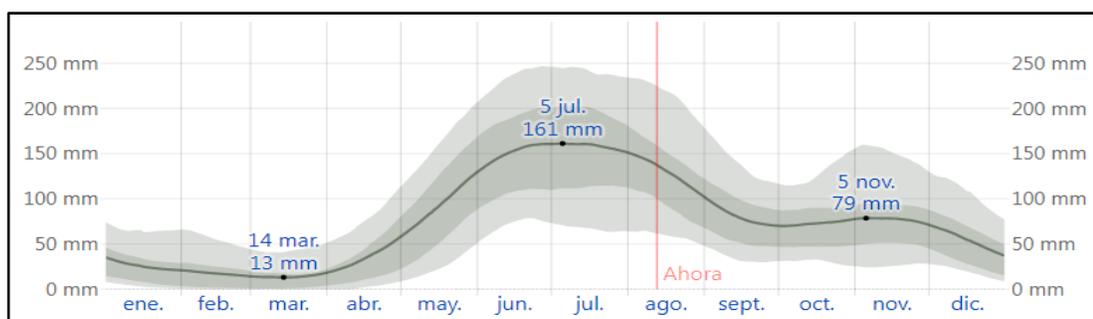


Figura 5.2 Promedio mensual de lluvia en Ciudad Guayana (es.weatherspark.com, 2022)-

5.1.2 Evaporación

La evaporación promedio anual en la zona es bastante elevada, esto es alrededor de 2.140 mm/ año. Esta variable climática no tiene una oscilación anual de alto rango; sin embargo, es posible diferenciar en su comportamiento temporal, dos (2) épocas donde ocurren los valores más altos, lo cual casi coincide con las épocas de equinoccio de primavera y otoño.

En estos meses (marzo y octubre) ocurren altas temperaturas, mayor cantidad de horas de brillo solar, baja humedad relativa, así como, un aumento de la velocidad del viento. Por otra parte, la evaporación registra sus valores más bajo durante los meses de julio y diciembre, es decir en las épocas de mayor pluviosidad y menor temperatura respectivamente.

En la tabla 5.3, se indican los promedios mensuales, así como el valor total medio anual de la estación Puerto Ordaz R-A y la figura 5.2 muestra el comportamiento anual de dicha variable.

Tabla 5.3. Evaporación media, mensual y anual (mm). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Puerto Ordaz R-A	173	182	225	219	197	149	157	158	177	183	173	149	2.139

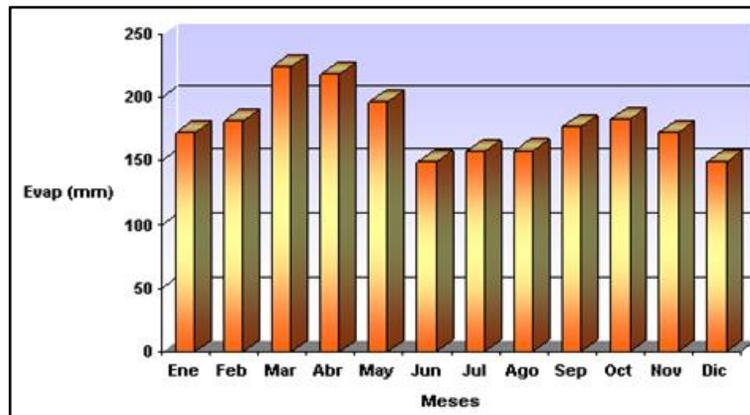


Figura 5.3 Variación anual de la evaporación (mm). Estación Puerto Ordaz (INAMEH, 2017).

5.1.3 Temperatura

En la zona, la temperatura promedio anual está entre 26,4 °C y 27,4° C. Por encontrarse en la zona tropical, se cumple la condición isotérmica, es decir, la diferencia de los valores de temperatura entre el mes más cálido y el más frío no supera los 5 °C.

En la tabla 5.4, se indican los valores medios de temperatura para la estación Puerto Ordaz R-A. Con base a dichos valores se elaboró la figura 5.3 en la cual se muestra el comportamiento anual de la temperatura registrada en la estación mencionada.

Tabla 5.4 Temperatura máxima, media y mínima (°C). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

Estación	Estadístico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Puerto Ordaz	Máxima Media	31,1	32,0	32,9	33,4	33,1	31,4	31,4	32,1	33,0	33,1	32,7	31,2	32,3
	Media	25,5	25,8	26,8	27,4	27,4	26,4	25,9	26,3	26,7	26,8	26,4	25,3	26,4
	Mínima Media	21,3	21,0	22,0	22,7	23,1	23,0	22,0	21,8	21,6	21,7	21,7	21,0	22,0

La distribución anual de la temperatura, al igual que la evaporación es de tipo bimodal. Se observa que las mayores temperaturas ocurren en la primavera astronómica, marzo – abril, con un máximo secundario en septiembre – octubre (otoño astronómico). Las temperaturas más bajas se registran en el lapso diciembre – febrero (invierno astronómico) y en el mes de junio, coincidiendo con la época de máxima pluviosidad. Por otra parte, la amplitud térmica anual promedio es de 2,2 °C, lo que ratifica la condición de isoterminia del clima del área.

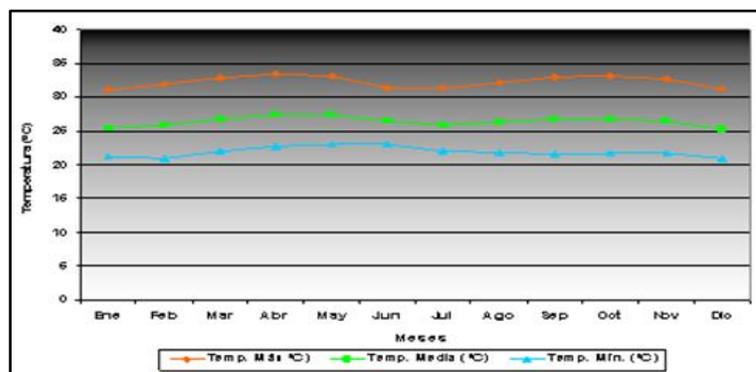


Figura 5.4 Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima (°C) en la Estación Puerto Ordaz R-A (INAMEH, 2017).

De acuerdo a los registros de la estación es.weatherspark.com (2022) la cual presenta registros históricos del período 1980 – 2016, la temperatura muestra el siguiente comportamiento.

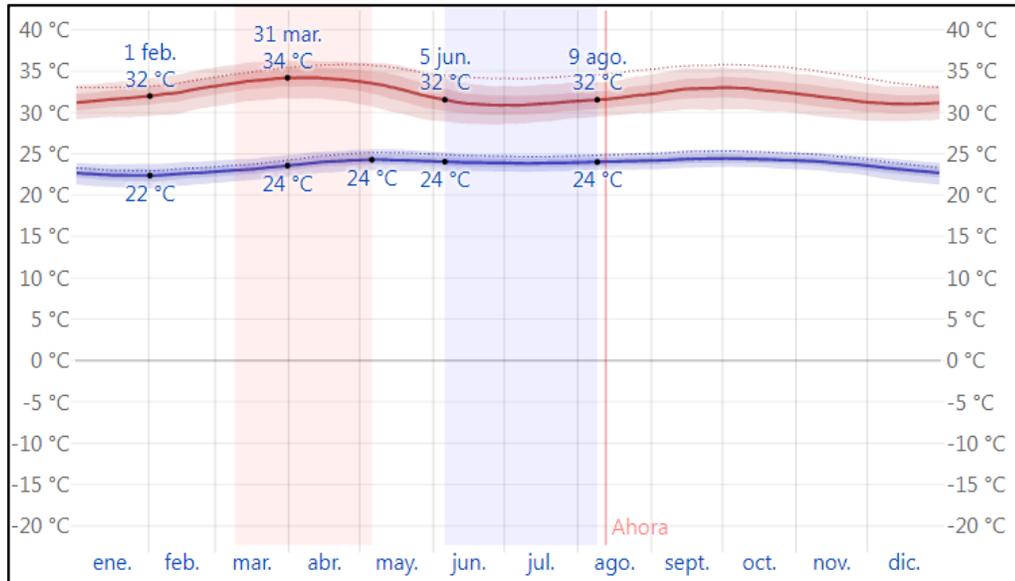


Figura 5.5 Temperatura máxima y mínima promedio mensual (es.weatherspark.com, 2022).

5.1.4. Insolación

La variación temporal de la insolación depende del movimiento anual aparente del sol, de la nubosidad, las precipitaciones y el estado de transparencia de la atmósfera.

Con base en las estaciones cercanas a la zona se estima que el área del proyecto recibe una insolación media anual alrededor de 7.1 horas de sol.

Los valores más altos ocurren en los meses de enero a marzo y un segundo pico menos importante ocurre en los meses de septiembre y octubre. Los menores valores de brillo solar ocurren durante los meses junio y diciembre, lo que demuestra la alta nubosidad presente en la zona en dichos meses, por la temporada de lluviosa. (Tabla 5.5 y Figura 5.6).

Tabla 5.5. Insolación media mensual y anual (horas de sol). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Puerto Ordaz R-A	7,3	7,5	7,6	7,0	7,0	6,1	6,8	7,1	7,8	7,8	7,8	6,9	7,2

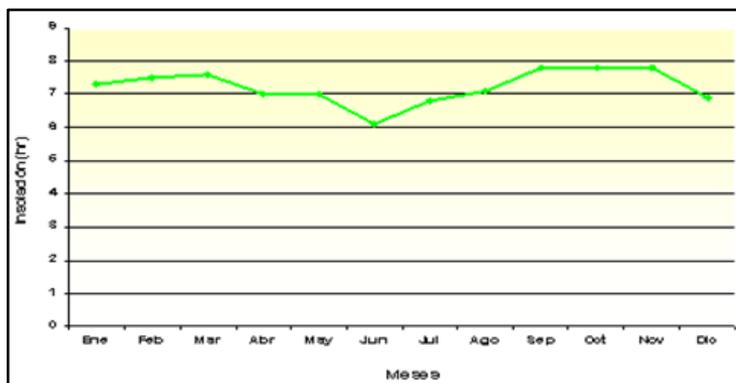


Figura 5.6 Variación anual de la insolación (horas). Estación Puerto Ordaz (INAMEH,2017).

La duración del día en Ciudad Guayana no varía considerablemente durante el año, solamente varía 36 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2022, el día más corto es el 21 de diciembre, con 11 horas y 38 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de junio, con 12 horas y 37 minutos de luz natural.

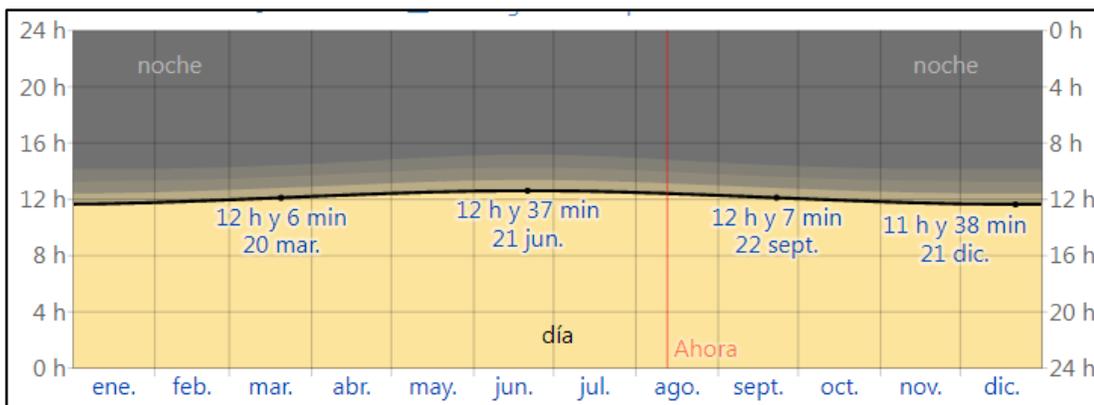


Figura 5.7 Horas de luz natural y crepúsculo en Ciudad Guayana (es.weatherspark.com, 2022).

5.1.5 Humedad Relativa

La humedad relativa media anual está por el orden del 75 %, según los datos de la estación Puerto Ordaz R-A.

En la tabla 5.6, se presentan los valores medios mensuales y anuales de humedad relativa para dicha estación y en la figura 5.8 se muestra su distribución en el año.

De acuerdo a ello, se observa que la humedad relativa media mensual alcanza su mayor valor (82%), en el mes de máxima precipitación (julio-agosto), y el mínimo durante los meses de marzo y abril (66%).

Tabla 5.6. Humedad relativa media mensual y anual (%). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Puerto Ordaz R-A	75	71	67	66	72	80	81	82	77	76	78	78	75

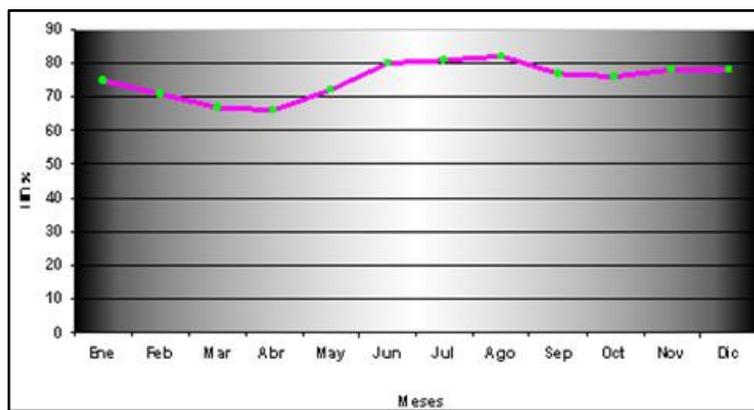


Figura 5.8 Variación anual de la humedad relativa (%). Estación Puerto Ordaz. (INAMEH, 2017).

En Ciudad Guayana la humedad percibida varía levemente. El período más húmedo del año dura 9,5 meses, del 13 de abril al 30 de enero, y durante ese tiempo el

nivel de comodidad es **bochornoso**, **opresivo** o **insoportable** por lo menos durante el 77 % del tiempo. El mes con más días bochornosos en Ciudad Guayana es julio, con 30,1 días bochornosos o peor.

El mes con menos días bochornosos en Ciudad Guayana es febrero, con 20,7 días bochornosos o peor.

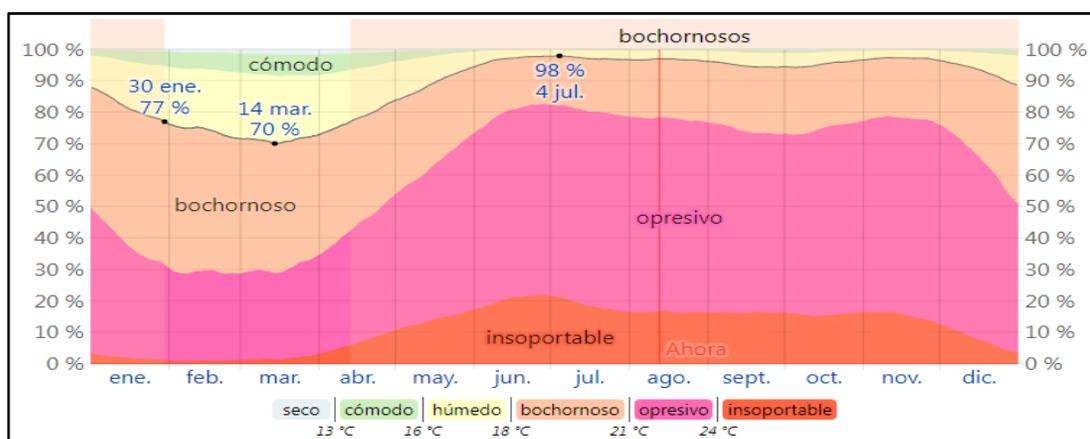


Figura 5.9 Niveles promedio de humedad en Ciudad Guayana (es.weatherspark.com, 2022).

De todos los parámetros antes mencionados, es necesario acotar que solo la precipitación tiene una incidencia directa en el movimiento de las partículas presentes en el lecho del área de estudio, ya que dicho parámetro influye en los caudales y velocidad del flujo del río Orinoco.

La velocidad del flujo mantiene una relación directa con la capacidad de movilizar partículas de determinada granulometría; es decir, a mayor velocidad del flujo mayor tamaño de las partículas podrán ser movilizadas.

5.2 Características texturales de los sedimentos del lecho

En primer lugar se efectuó un muestreo de los materiales del lecho en la zona de estudio. En total se tomaron cinco (5) muestras extraídas del área ocupada por el canal de navegación y de sus adyacencias.



Figura 5.10 Marino hidrógrafo durante el proceso de toma de muestras de fondo en el río Orinoco.

La ubicación de los puntos de muestreo se decidieron en función de las profundidades disponibles en la zona de estudio y tomando en cuenta el área de estudio del canal de navegación en el sector Punta Cuchillo que periódicamente deben ser dragadas por el ente gubernamental (CVG Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco) que realiza el mantenimiento de la vía fluvial.

Cabe destacar que el sector posee en gran parte de su extensión superficial profundidades (>6 m) que superan las capacidades de muestreo de los equipos disponibles a tal fin (muestreador manual cilíndrico de acero).

5.2.1 Distribución granulométrica de los sedimentos del lecho

Una vez realizado el análisis granulométrico de las muestras tomadas se obtuvieron los resultados y las curvas granulométricas mostradas en la figura 5.11

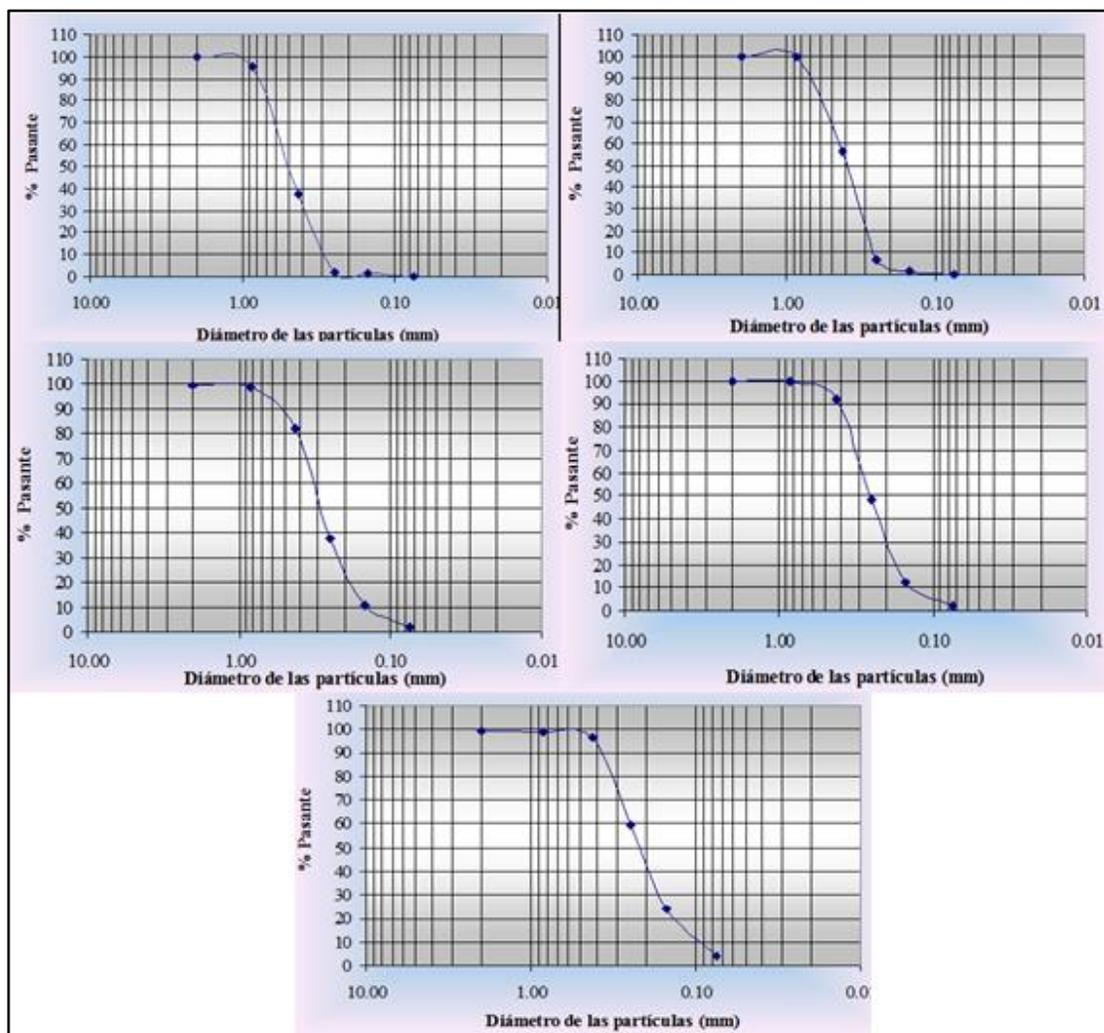


Figura 5.11 Curvas granulométricas de las muestras M1, M2, M3, M4 y M5 (numeradas de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo).

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, las muestras tomadas resultaron ser arenas mal gradadas (SP).

Mediante el análisis granulométrico practicado a las muestras recolectadas en campo se logró determinar que son 100 % arenas, de las cuales el 80 % son arenas finas mientras que el 20 % restante corresponde a arenas medias, tal y como puede apreciarse en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Resultados del análisis granulométrico.

Muestra	% Grava	% Arena			% Finos	% Total
		Gruesa	Media	Fina		
M1	0	0.15	62.64	37.01	0.20	100
M2		0.00	43.14	56.80	0.06	
M3		0.14	17.55	80.53	1.78	
M4		0.11	7.49	90.60	1.80	
M5		0.49	2.93	92.52	4.06	

5.2.2 Formas de las partículas de los sedimentos del lecho

En cuanto al análisis de forma de las partículas de las muestras tomadas en el sector Punta Cuchillo, en las mismas predominan las partículas sub-angulosas y sub-redondeadas, lo cual permite inferir que han sufrido poco o moderado transporte o al menos la cantidad de movimiento que han tenido las partículas no ha sido suficiente para que reciban un nivel de fricción o abrasión que degrade sus aristas hasta las formas redondeadas (Figura 5.12).

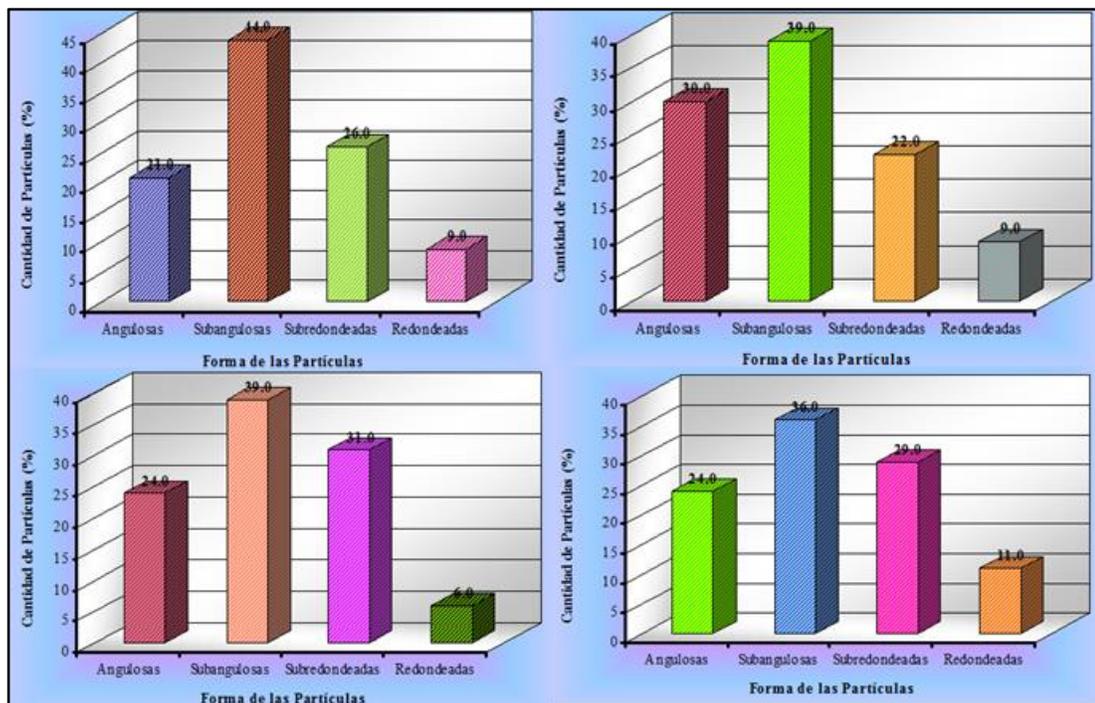


Figura 5.12 Hidrogramas de esfericidad y redondez de las partículas de las muestras M1, M2, M3 y M4.

Tabla 5.8 Resumen de análisis morfoscópicos realizados a las muestras

Tipo de Partículas	NOMBRE DE LA MUESTRA									
	M1		M2		M3		M4		M5	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Angulosas	43	21.5	42	21	60	30	48	24	48	24
Subangulosas	72	36	88	44	78	39	78	39	72	36
Subredondeadas	60	30	52	26	44	22	62	31	58	29
Redondeadas	25	12.5	18	9	18	9	12	6	22	11
Total	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100

Las evidencias de que una partícula ha sufrido transporte se desprenden en primer lugar del grado de esfericidad de sus partículas y en segundo lugar por la dureza del tipo de minerales presentes.

Por ejemplo, las muestras de sedimentos analizadas presentan formas de las partículas predominantemente sub-angulosas a sub-redondeadas lo cual pareciera indicar que las partículas han recibido una moderada fricción durante su transporte, bien sea porque la fuente de los sedimentos se encuentra cercana o porque el mecanismo de transporte haya sido predominantemente por suspensión y poca saltación.

Por otro lado, el contenido mineralógico de las muestras indica un elevado porcentaje de contenido de cuarzo y de otros minerales de dureza media a alta; esta realidad pudiera enmascarar la realidad de la distancia a la que se encuentra la roca origen. Asimismo, hay presencia de pocos o ninguna evidencia de minerales de baja dureza como la plagioclasa; pudiese indicar que el transporte ha sido suficiente para disgregar y o eliminar las trazas de los minerales blandos que deberían estar presentes si se tratase de rocas provenientes del Complejo Imataca.

Estas circunstancias permiten recomendar la realización de estudios que correlacionen cuantitativa y cualitativamente la esfericidad o redondez de las partículas de cada mineral en relación a la distancia de transporte a la cual ha sido sometido el sedimento.

5.3 Características hidráulicas del flujo del agua

Para la caracterización hidráulica del sector Punta Cuchillo se analizarán los parámetros principales que describen el cuerpo de agua como son: la velocidad de la corriente, los caudales y los niveles del río.

Las campañas de aforos para la determinación de caudales y velocidades de corriente no se han realizado en forma sistemática en la última década; sin embargo,

con los registros históricos de todas las campañas anteriores en las cuales se han efectuado aforos en la sección correspondiente a la milla 192.0 (inmediatamente aguas arriba del área de estudio), se ha construido la Tabla 5.10 la cual nos permitirá mostrar una correlación de los tres parámetros antes indicados y que se muestra en la Figura 5.14.

Tabla 5.9 Valores de velocidad de la corriente, caudales y niveles en la sección de aforos de la milla 192.0 sector Punta Cuchillo del río Orinoco.

Fecha	Fuente de Información	Gasto Sólido (Ton-día)	Gasto Líquido (m ³ /s)	Velocidad Media (m/s)	Nivel Palúa (m)
20/03/02	INC -2002		9,427.72	0.36	1.37
14/06/00	INC -2000		50,325.91	1.22	8.18
06/09/00	INC -2000	352,909.81	61,576.95	1.39	9.58
13/12/00	INC -2000	124,457.49	24,907.44	0.74	4.5
23/03/00	INC 2000	39,482.05	13,056.23	0.47	1.35
08/12/99	INC -1999	247,715.45	25,829.52	0.78	4.37
30/04/99	INC -1999	300,763.92	28,455.56	0.83	4.93
14/12/98	INC -1998	133,086.59	27,506.32	0.81	4.1
29/03/98	INC -1998	9,521.52	8,079.38	0.29	1.43
01/06/97	INC -1997	471072.15	38,234.39	0.93	5.45

Esta correlación permite a futuro estimar valores de caudal y velocidad de la corriente, los cuales son los parámetros de mayor dificultad de medición a través del tiempo, a partir de las mediciones de niveles del río que si son medidos diariamente en forma continua en el limnógrafo de las estaciones Palúa (milla 183) y Punta Cuchillo (milla 192).

Dada la relación directa existente entre la velocidad de la corriente y la capacidad del flujo de poner en movimiento los sedimentos, se torna de importancia relevante el conocimiento de las velocidades de la corriente imperantes en el sector Punta Cuchillo

con la finalidad de definir el estado de movimiento (depositación, transporte o erosión) de las partículas en función de su granulometría y la mencionada velocidad del flujo.

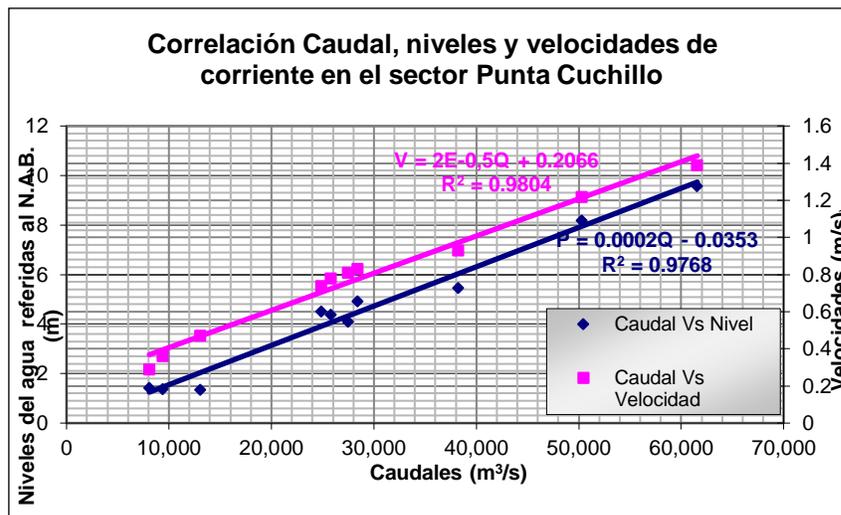


Figura 5.14 Correlación de Velocidad, caudales y niveles del río Orinoco en la estación de aforos en el sector Punta Cuchillo.

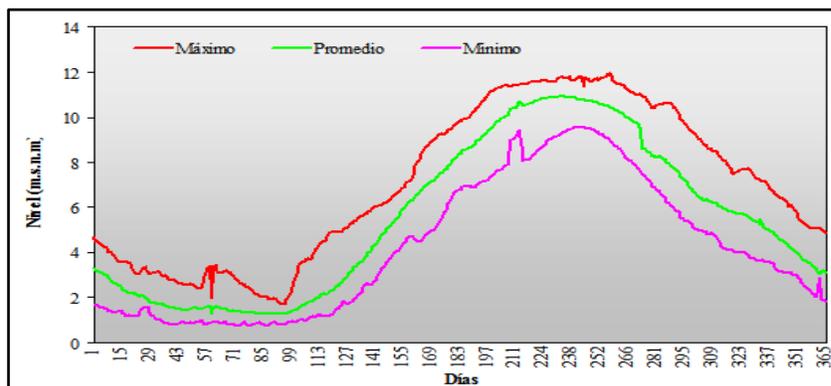


Figura 5.15 Hidrograma de niveles máximos, promedios y mínimos en el sector Punta Cuchillo referidos al Datum nmm. Período 1980-2020 (Estación Punta Cuchillo).

5.4 Caracterización del movimiento de los sedimentos del río

5.4.1 Estado de movilidad con base a los criterios de Hjulström,

La aplicación del modelo de Hjulström requiere del diámetro medio (d_{50}) de los sedimentos que para el caso en análisis del sector Punta Cuchillo se ha estimado entre 0.23 mm y 0.29 mm (a excepción de la muestra M1 con un $d_{50} = 0.50$ mm) lo cual permite estimar como velocidades predominantes de la corriente para mantener el movimiento de las partículas entre 20 cm/s y 70 cm/s lo cual se puede observar en la Figura 5.16 siguiendo la línea de trazo segmentado.

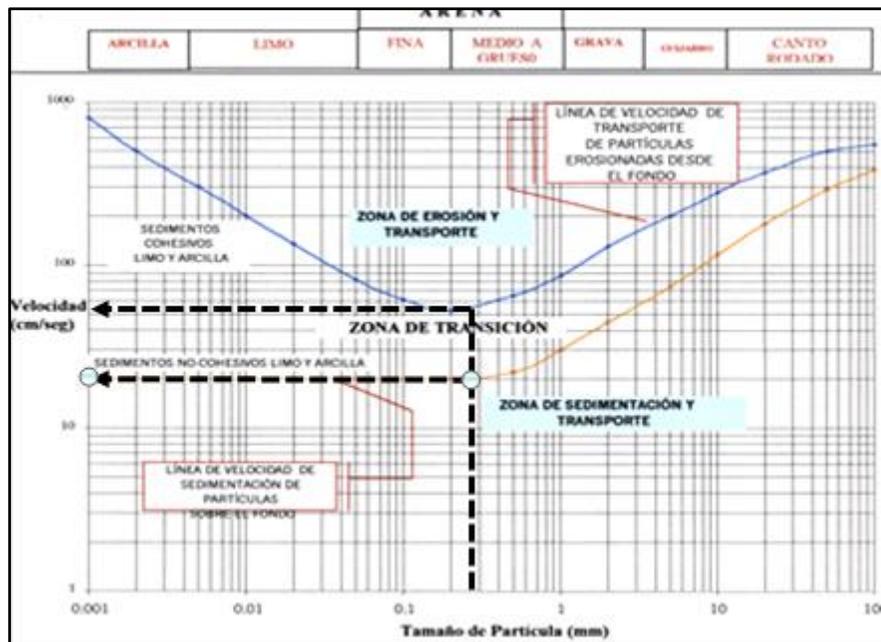


Figura 5.16 Modelo de Hjulström aplicado

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 5.10.

Tabla 5.10 Velocidades límites para que se produzcan los estados de movimiento de los sedimentos.

Muestras	Diámetro Medio (d_{50}) (mm)	Velocidad para Sedimentación (cm/s)	Velocidad para Transporte (cm/s)	Velocidad para Erosión (cm/s)
M1	0.50	≤ 25	$25 \leq x \leq 70$	≥ 70
M2	0.39	≤ 20	$20 \leq x \leq 55$	≥ 55
M3	0.29	≤ 20	$20 \leq x \leq 55$	≥ 55
M4	0.26	≤ 21	$21 \leq x \leq 56$	≥ 56
M5	0.23	≤ 21	$21 \leq x \leq 56$	≥ 56

De acuerdo al gráfico de correlación Nivel-Caudal-Velocidad (Figura 5.10), considerando el rango de velocidades mínimas de movilidad de los materiales obtenidas mediante el modelo de Hjulström (0.21 m/s a 0.70 m/s), se deduce que este rango de velocidades se obtendrán cuando ocurran las siguientes condiciones:

Tabla 5.11 Parámetros de la corriente para el momento de ocurrencia del movimiento de las partículas de las muestras recolectadas.

Diámetro medio (d_{50} en mm)	Velocidad mínima del flujo (m/s)	Caudal (m^3/s)	Nivel del río (m ref. NAB)	Lapso de ocurrencia aproximado
0.26 a 0.3	0.26	8000	1.3	Feb-Mar (Aguas Bajas)
0.50	0.70	24000	3.2	Nov-Dic ó Abr-Mayo (Aguas Medias)

Nota: Nivel (ref snm_{Pta Cuchillo}) = Nivel (ref NAB_{Pta Cuchillo}) + 0.57 m

5.4.2 Modalidad de transporte de los sedimentos según criterio de Visser

Una vez construidas las curvas granulométricas basadas en el porcentaje retenido acumulado y trazadas las tangentes a las curvas, se determinan las fracciones de los

sedimentos de acuerdo al tipo de mecanismo de transporte o mediante el cual se movilizan las partículas (tracción, saltación y suspensión).

En ese sentido, se puede observar en la Tabla 5.12 las distintas fracciones de los sedimentos según la modalidad de movimiento mediante el cual se transportan.

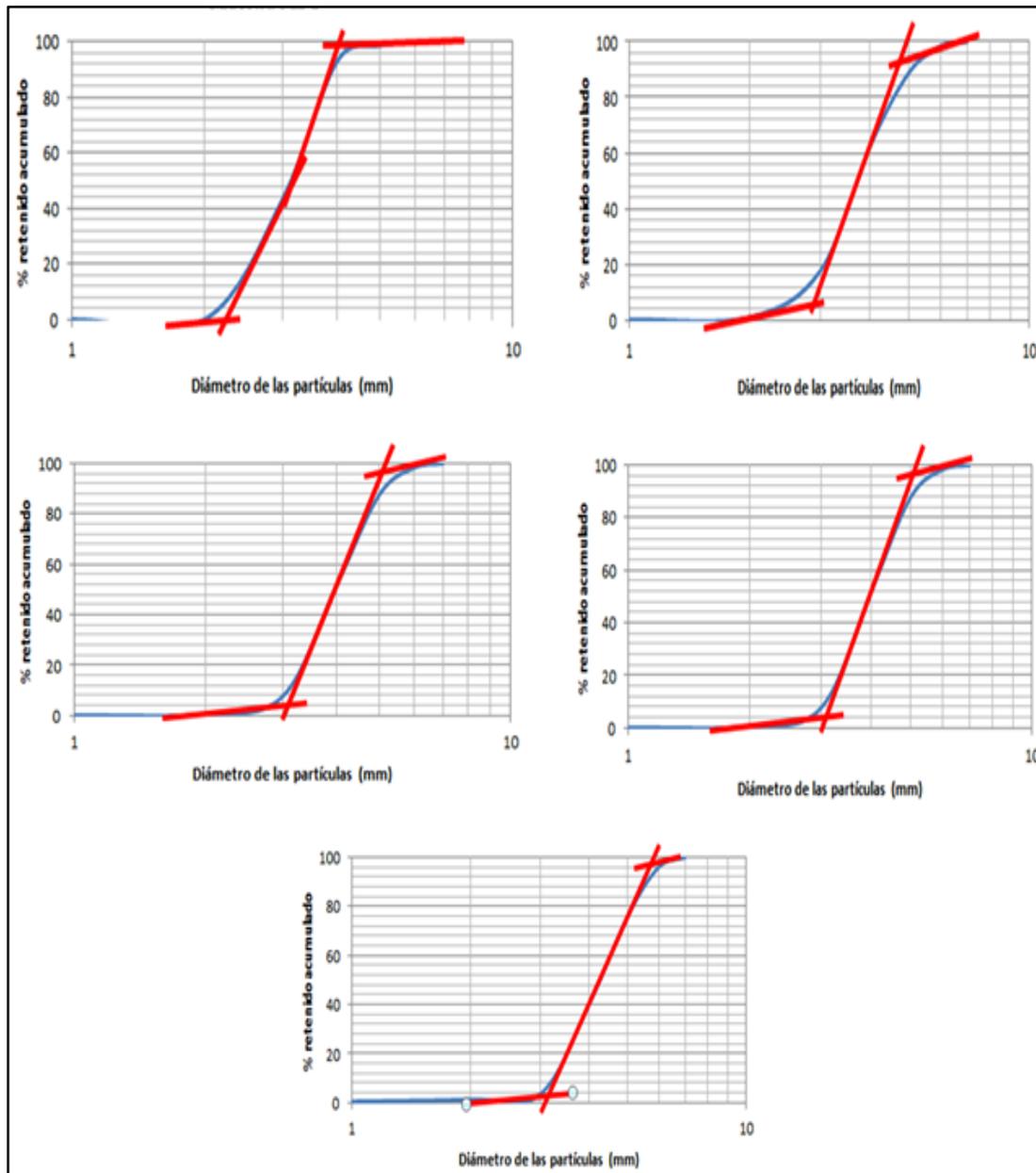


Figura 5.17 Curvas granulométricas según Visher para las muestras (numeradas de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo) M1, M2, M3, M4 Y M5.

Se puede observar en los gráficos anteriores (figura 5.11) que la casi totalidad de los sedimentos se mueven mediante el mecanismo de saltación.

Tabla 5.12 Fracción porcentual que se moviliza según mecanismo de criterio de Visher.

Muestra	Fracción por tracción		Fracción por saltación		Fracción por suspensión	
	Rango diámetros (mm)	%	Rango diámetros (mm)	%	Rango diámetros (mm)	%
M1	>4.75	0.5	4.75 a 2.1	99	<2.1	0.5
M2	>4.75	0.5	4.75 a 2.3	99	<2.3	0.5
M3	>4.75	0.6	4.75 a 2.8	89	<2.8	4
M4	>5.10	3	5.1 a 3.1	94	<3.1	3
M5	>5.70	3	5.7 a 2.2	94	<2.2	3

5.5 Morfología del cauce del río Orinoco en el área de estudio

De la aplicación del procedimiento planteado en el punto 4.6.4 del Capítulo anterior, utilizando el plano batimétrico cedido para consulta por la CVG Gerencia Canal de Navegación del Orinoco.

Las formas del lecho observadas en el Punta Cuchillo presenta desarrollo de ondas sedimentarias (dunas, antidunas u ondas de arena) antes de su entrada en el meandro como puede observarse en la sección longitudinal y en el modelo digital del terreno (*Digital terrain model*) (Figura 5.18) producto de la acción de la corriente, que cubren la superficie del lecho casi en su totalidad, desplazadas en dirección suroeste-noreste, siguiendo el patrón de circulación del río.

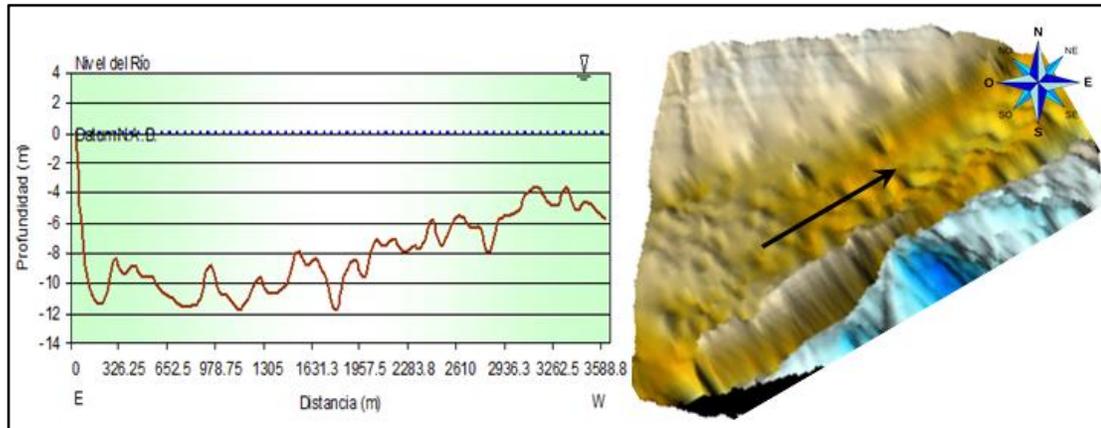


Figura 5.18 Perfil longitudinal y modelo digital del lecho en el sector Punta Cuchillo (referencia plano ODB.5370, mayo 2016).

Se apreció la existencia de numerosas ondas de arena (dunas o antidunas) en el área de estudio, con una longitud variable entre 90 m y 300 m y entre 1.00 m y 3.00 m de altura en el plano batimétrico de Mayo de 2016. Sin embargo, dada la escala y resolución del levantamiento batimétrico (1:5000) no fue posible visualizar o apreciar la morfología precisa de las ondas de arena en la imagen tridimensional de tal forma que permitiese afirmar sin lugar a dudas si se trataba de antidunas o dunas.

En la Figura 5.19 se observa el levantamiento batimétrico del sector Punta Cuchillo, específicamente en la zona conocida como los Morros de Guarampo.

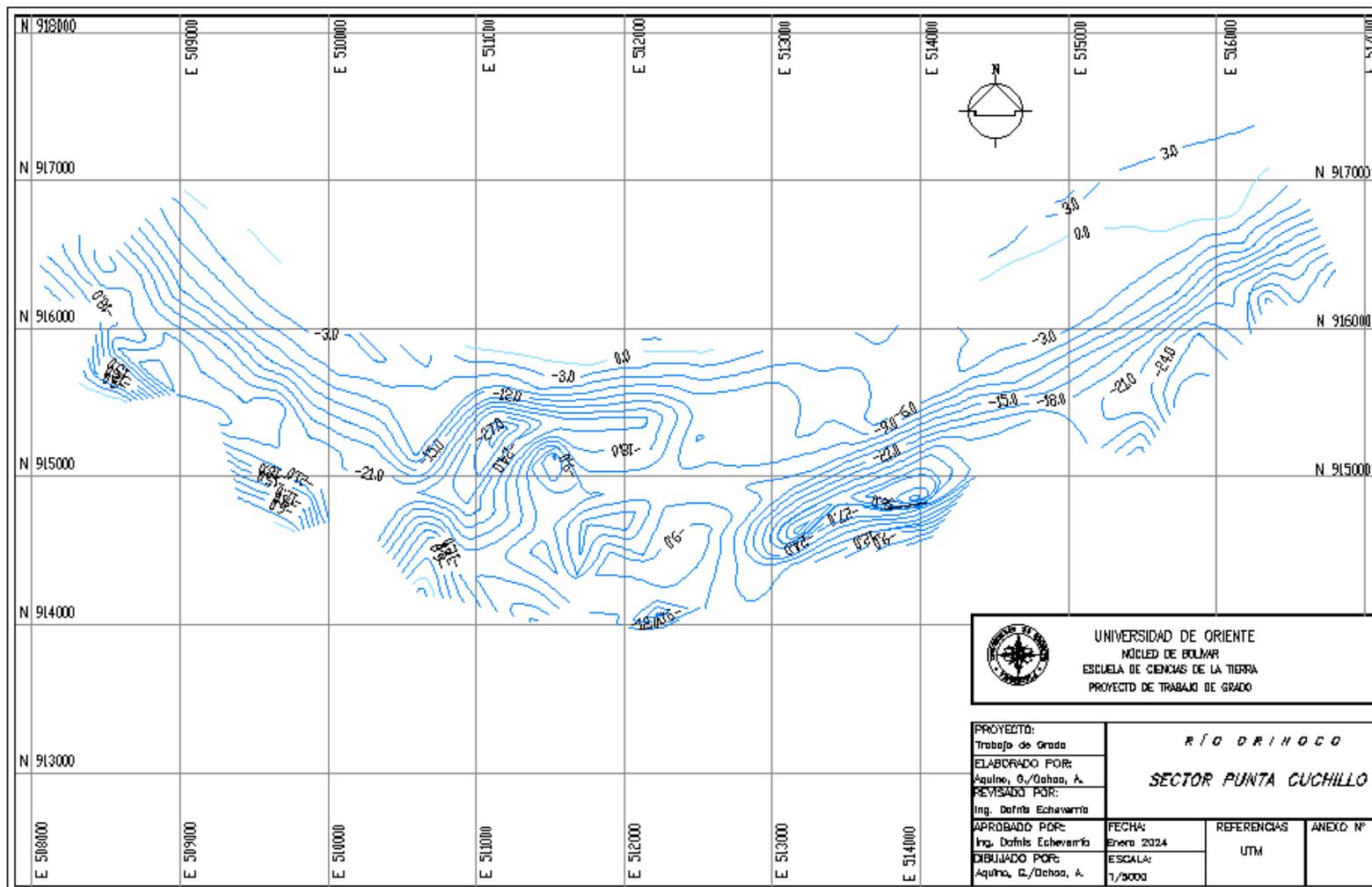


Figura 5.19 Plano batimétrico del sector Punta Cuchillo del río Orinoco.

En la Figura 5.20, se presenta la comparación temporal de perfiles transversales de las progresivas 191.5 y 192.5 los cuales fueron construidos con planos batimétricos de los años 1985 y 1997 obteniéndose los siguientes resultados:

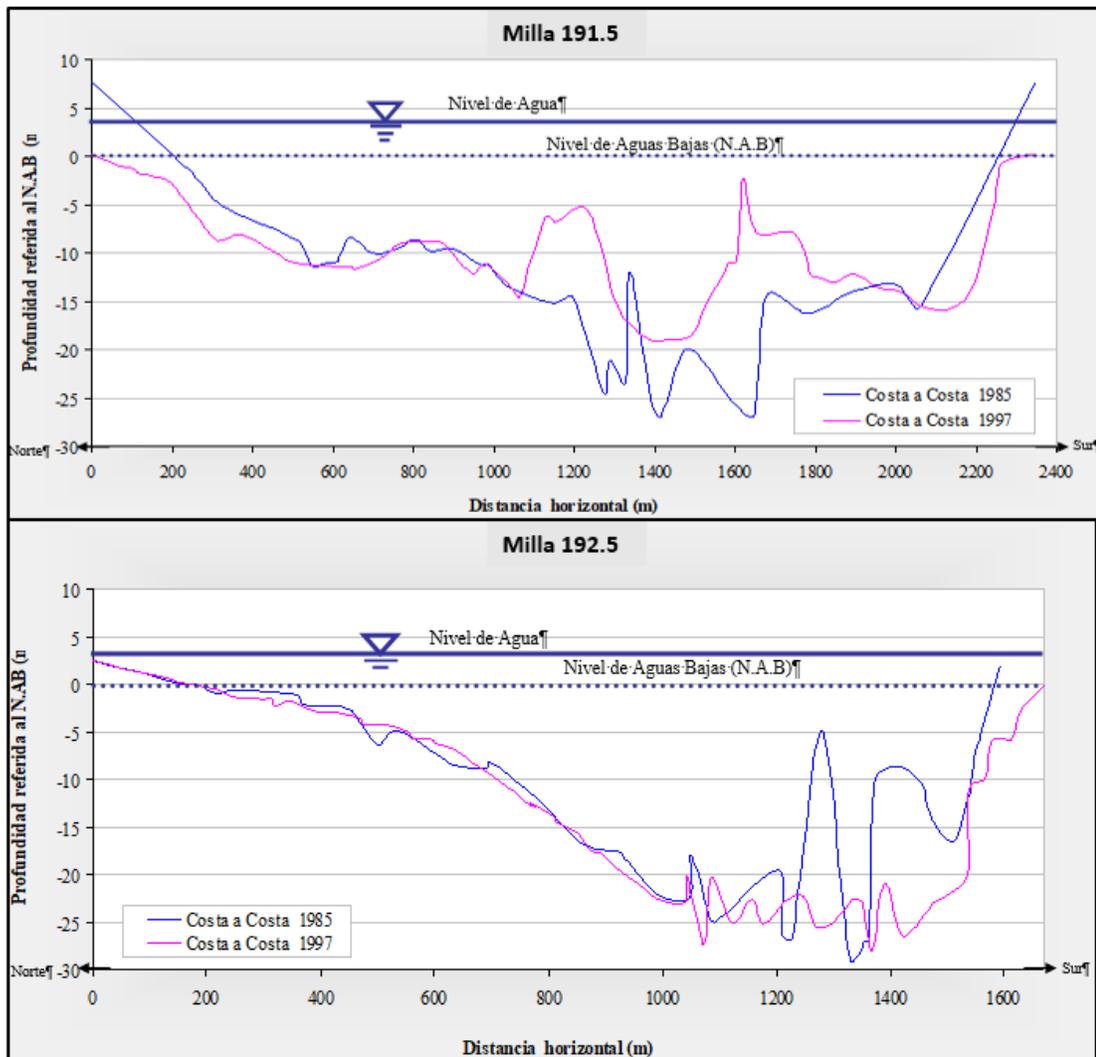


Figura 5.20 Comparación espacial y temporal de secciones transversales de las progresivas millas 191.5 y 192.5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. De acuerdo a los parámetros climáticos revisados, se concluye que el área del proyecto se enmarca en la zona de vida Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge. Asimismo, el área se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi), caracterizado por presentar un período de lluvia y otro de sequía, bien definidos, con una oscilación térmica promedio inferior a los 5 °C.
2. El tipo de sedimento presente en el área corresponde a arena de medias a finas y que de acuerdo al sistema Unificado de Clasificación de Suelos corresponden a arenas mal gradadas (SP). Por otra parte, el análisis morfométrico de las partículas que muestra formas de partículas predominantemente sub-angulosas y sub-redondeadas, lo cual permite inferir un transporte friccionante significativo dada la dureza de los minerales presentes con predominio de cuarzo.
3. Los registros históricos de velocidad del flujo muestran velocidades de flujo en el sector que oscilan entre 0.29 y 1.39 m/s para caudales de 8079 y 61576 m³/s respectivamente y se observa un comportamiento aproximadamente directamente proporcional.
4. La aplicación del modelo de Hjulström permite concluir que los materiales del lecho presentes en el Punta Cuchillo requieren velocidades del flujo en el rango de 0.21 m/s a 0.70 m/s para mantenerse en régimen de transporte. Asimismo, se deduce que las velocidades inferiores a 0.21 m/s ocasionará la sedimentación de las partículas y para que se produzca el esfuerzo cortante.

5. 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

6. De la observación del perfil longitudinal del lecho del área de estudio, (construido a partir del plano batimétrico de Mayo de 2016), al menos en la entrada del meandro, se pueden observar ondulaciones en la arena del lecho que podrían ir de dunas a rizaduras, lo cual de alguna manera se ha podido interpretar en el perfil longitudinal del lecho y en el modelo digital del terreno subacuático aun tomando en cuenta las restricciones de resolución debido a la escala de 1: 5000 del plano batimétrico utilizado como mapa referencial.

Recomendaciones

1. Implementar modelos de flujo de sedimentos en el área de estudio, que permitan evaluar las direcciones preferenciales del flujo que utilizan los sedimentos en su tránsito por el sector.

2. Evaluar las tendencias migratorias de las barras de arena con la finalidad de determinar la recurrencia en la formación de las mismas y su correlación con las magnitudes de velocidades y direcciones de corrientes.

3. Se sugiere la aplicación de los modelos de predicción de las formas del lecho (por ejemplo de Simons y Richardson o de Van Rijn) como herramienta expedita para la determinación de la presencia de formas del lecho que eventualmente podrían dificultar la ejecución de las labores de dragado de mantenimiento por parte del ente estatal CVG GCNO

REFERENCIAS

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

Aguirre Pe, J.. (1980). **HIDRÁULICA DE SEDIMENTOS**. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Mérida. Pp 100.

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

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

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

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

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

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

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

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. (1999). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN** (3ra Ed.) Caracas, Venezuela.

Arias, F. (2006). **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.

Bermúdez, G. y Echeverría, D. (1990). **DETERMINACIÓN DE LA TASA DE SEDIMENTACIÓN EN EL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO,** Gerencia Canal del Orinoco, Instituto Nacional de Canalizaciones.

Bowles, Joseph (1981) **MANUAL DE LABORATORIO E INGENIERÍA CIVIL.** Series McGraw hill, Latinoamericana, Bogotá. pp. 35-45 y 175 – 180.

Bracho Magdaleno, C. L. (1988). **DICCIONARIO DE MAREAS Y CORRIENTES.** Dirección de Hidrografía y Navegación. Armada. Ministerio de la Defensa. Caracas.

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

Canales, F de (1986). **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.** Conversaciones. 232 páginas.

Chang, H. (1988). **FLUVIAL PROCESSES IN RIVER ENGINEERING.** Krieger Publishing Company. Florida, pp 80-88.

Chow, Ven T. (1994). **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS.** Santafé de Bogotá, Colombia.

Chow, Ven T. (1988). **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS**. Editorial John Wiley e hijos. New York, pp 33, 47, 125, 144-152.

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

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

Consultora Ingeniería Caura, C.A. (1994). **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL DRAGADO DE MANTENIMIENTO DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO**. Caracas, pp105-128.

Corona, V.(1972). **PROYECTO ORINOCO**. Instituto Nacional de Canalizaciones. Caracas, pp 3

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

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

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

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

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

Echeverría, D. y Medina, R. (1992). **ESTUDIO DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DEL RÍO ORINOCO EN LOS SECTORES ARAMAYA, LOS CASTILLOS, GUARGUAPO Y YAYA**. Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz.

Einstein, H.A. (1950). **THE BED-LOAD FUNCTION FOR SEDIMENTE TRANSPORTATION IN OPEN CANNEL FLOWS**. United States Department of Agriculture Soil Conservation Service. Technical Bulletin No. 1026. Pp 78.

Fattorelli, S. (2007). **DISEÑO HIDROLÓGICO**. Zeta Editores. 626 páginas.

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.

French, R. (1988). **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS** (1ra Ed.) México.

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

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

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

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

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

González de Juana, C., Iturralde, J., Piccard, X. (1980) **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS.** Edición Foninves. Caracas. Tomo I y II, pp. 14-18-69-72

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.

Hurtado de Barrera, J. (2000). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.** Edición SYPAL, Caracas, pp 54-72.

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 (1997). **INFORME DE AVANCE DE DRAGADO DE MANTENIMIENTO DEL CANAL DE NAVEGACIÓN INTERIOR DEL RÍO ORINOCO**. Puerto Ordaz, pp 15-16

Instituto Nacional de Canalizaciones. (2002). **DERROTERO PARA LA NAVEGACION EN EL RÍO ORINOCO. TRAMO BOCA GRANDE MATANZAS**. Puerto Ordaz, pp 25

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

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

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

Knighton, D. (1984). **FLUVIAL FORMS AND PROCESSES**. Editorial Edward Arnold. Aukland, pp 20-29.

Lambe W, W. R. (1981). **MECÁNICA DE SUELOS**. Editorial Limusa. México D.F. p. 33-36.

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

Léxico Estratigráfico de Venezuela. (1971). Ediciones Universidad Central de Venezuela, Caracas, pp 35 -72

Linsley, Kholer y Paulus. (1979). **HIDROLOGÍA PARA INGENIEROS**.

Machado, D.A. (2005). **ANÁLISIS DE ESTIMADORES ÓPTIMOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN RÍOS Y CANALES**. Trabajo especial de grado. Facultad de Ingeniería. ULA. Mérida. Venezuela. Pp 122.

Marcucci, E. (1974). **ESTUDIO ESTADÍSTICO DEL DRAGADO EN EL RÍO ORINOCO**. Instituto Nacional de Canalizaciones. Caracas, pp 5 – 6.

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

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

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.

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

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

Meneses, R. (1990). Trabajos de grado y tesis doctorales: factores asociados. Trabajo de grado maestría no publicado, Universidad Simón Bolívar, Caracas.

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

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 Energía y Minas (M.E.M.). (1956). **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA BOLETÍN GEOLOGÍA**. Primera Edición. Editorial Sucre, Caracas, Venezuela. Pp 524-525.

Ministerio de Energía y Minas (M.E.M.). (1971). **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA BOLETÍN GEOLOGÍA**. Segunda Edición. Editorial Sucre, Caracas, Venezuela. Pp 423.

Ministerio de Energía y Minas (M.E.M.) (1999). **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA BOLETÍN GEOLOGÍA**. Tercera Edición. Editorial Sucre, Caracas, Venezuela. Pp 414-415.

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

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

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

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

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

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

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

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

Sabino, C. (1992). **EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN** (3ra Ed.) Caracas, Venezuela.

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.

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

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

Tippet, Abbet, McCarthy y Stratton Ingenieros y Arquitectos, (1970). **TRANSPORTE DE MINERAL DE HIERRO DE PUERTO ORDAZ AL MAR**. Instituto Nacional de Canalizaciones, Caracas, pp 125-132.

Van Rijn, L. (2000). **SEDIMENTACIÓN EN RÍOS Y ESTUARIOS**. Universidad de Delft, Holanda. Pp 17-22.

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

Wadell, H.A. (1932) **VOLUME, SHAPE AND ROUNDNESS OF ROCK PARTICLES**. The Journal of Geology, 40, 443-451.

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

APÉNDICES

APÉNDICE A
RESULTADOS DE ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN
GRANULOMÉTRICA DE LAS MUESTRAS DE SUELOS

MUESTRA M1							
Número de Tamiz	Diámetro de Tamiz (mm)	Peso de Tamiz (gr)	Tamiz+Suelo (gr)	Suelo Retenido(gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
10	2.000	481.68	482.19	0.51	0.15	0.15	99.85
20	0.850	382.90	398.00	15.10	4.31	4.46	95.54
40	0.425	577.12	781.29	204.17	58.33	62.79	37.21
60	0.250	324.71	448.60	123.89	35.40	98.19	1.81
100	0.150	503.74	506.16	2.42	0.69	98.88	1.12
200	0.075	295.69	298.91	3.22	0.92	99.80	0.20
Pan	-	477.58	478.27	0.69	0.20	100.00	0.00
			Total	350.00	100.00		

A.1 Curva granulométrica de la muestra M1,

MUESTRA M2							
Número de Tamiz	Diámetro de Tamiz (mm)	Peso de Tamiz (gr)	Tamiz+Suelo (gr)	Suelo Retenido(gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
10	2.000	481.68	481.68	0.00	0.00	0.00	100.00
20	0.850	382.90	383.17	0.27	0.08	0.08	99.92
40	0.425	577.12	727.84	150.72	43.06	43.14	56.86
60	0.250	324.71	499.28	174.57	49.88	93.02	6.98
100	0.150	503.74	523.53	19.79	5.65	98.67	1.33
200	0.075	295.69	300.12	4.43	1.27	99.94	0.06
Pan	-	477.58	477.80	0.22	0.06	100.00	0.00
			Total	350.00	100.00		

A.2 Curva granulométrica de la muestra M2

MUESTRA M3							
Número de Tamiz	Diámetro de Tamiz (mm)	Peso de Tamiz (gr)	Tamiz+Suelo (gr)	Suelo Retenido(gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
10	2.000	481.68	482.18	0.50	0.14	0.14	99.86
20	0.850	382.90	385.87	2.97	0.85	0.99	99.01
40	0.425	577.12	635.57	58.45	16.70	17.69	82.31
60	0.250	324.71	481.26	156.55	44.73	62.43	37.57
100	0.150	503.74	595.98	92.24	26.36	88.79	11.21
200	0.075	295.69	328.71	33.02	9.44	98.22	1.78
Pan	-	477.58	483.80	6.22	1.78	100.00	0.00
			Total	349.95	100.00		

A.3 Curva granulométrica de la muestra M3.

MUESTRA M4							
Número de Tamiz	Diámetro de Tamiz (mm)	Peso de Tamiz (gr)	Tamiz+Suelo (gr)	Suelo Retenido(gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
10	2.000	481.68	482.06	0.38	0.11	0.11	99.89
20	0.850	382.90	384.34	1.44	0.41	0.52	99.48
40	0.425	577.12	601.90	24.78	7.08	7.60	92.40
60	0.250	324.71	479.96	155.25	44.36	51.96	48.04
100	0.150	503.74	628.24	124.50	35.57	87.53	12.47
200	0.075	295.69	333.02	37.33	10.67	98.20	1.80
Pan	-	477.58	483.89	6.31	1.80	100.00	0.00
			Total	349.99	100.00		

A.4 Curva granulométrica de la muestra M4

MUESTRA M5							
Número de Tamiz	Diámetro de Tamiz (mm)	Peso de Tamiz (gr)	Tamiz+Suelo (gr)	Suelo Retenido(gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
10	2.000	481.68	483.38	1.70	0.49	0.49	99.51
20	0.850	382.90	385.80	2.90	0.83	1.32	98.68
40	0.425	577.12	584.46	7.34	2.10	3.42	96.58
60	0.250	324.71	453.35	128.64	36.75	40.17	59.83
100	0.150	503.74	628.29	124.55	35.59	75.76	24.24
200	0.075	295.69	366.34	70.65	20.19	95.94	4.06
Pan	-	477.58	491.80	14.22	4.06	100.00	0.00
			Total	350.00	100.00		

A.5 Curva granulométrica de la muestra M5.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

Título	CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDRODINÁMICAS Y MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS EN EL SECTOR PUNTA CUCHILLO DEL RÍO ORINOCO AGUAS ABAJO DEL PUENTE ORINOKIA, MUNICIPIO CARONÍ, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Aquino Palacio, Gustavo José	CVLAC	27.596.438
	e-mail	aquinopalacio@gmail.com
	e-mail	
Ochoa Torres, Auglimar Stephanie	CVLAC	27.596.416
	e-mail	auglimar8a@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Sector Playa Colorada-Palo Solo
Deposición de sedimentos
Movimiento de sedimentos
Transporte

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Geomorfología fluvial	Movimiento de sedimentos

Resumen (abstract):

El objetivo general de la presente investigación persigue realizar un análisis del movimiento de sedimentos que se produce en el sector Punta Cuchillo del río Orinoco. Tal estudio obedece a la necesidad de disponer de información veraz que ilustre sobre el comportamiento de estos sedimentos durante su tránsito por el mencionado sector. La principal razón de realizar el análisis del movimiento de sedimentos en el sector mencionado consiste en que estos materiales pudieran incrementar la sedimentación del canal de navegación, disminuyendo las profundidades y dificultando el paso de embarcaciones de gran calado a través de ese sector. La zona de estudio está ubicada en el río Orinoco, aproximadamente a 6 millas náuticas al oeste de la población de San Félix, en el estado Bolívar. El trabajo constó de una etapa de recolección de información tal como cartas de navegación y planos batimétricos del sector, datos climatológicos de la zona de estudio, datos de aforos del río, entre otros. Durante la etapa de campo se realizaron todas las labores prácticas de recolección de muestra de sedimentos del lecho del cauce del río y observaciones sobre la geología y geomorfología de las riberas. Durante la etapa de laboratorio se realizaron los ensayos pertinentes a las muestras de suelos, tales como: análisis granulométricos y análisis morfoscópicos de las partículas. Finalmente, en la etapa de oficina se efectuaron las digitalizaciones de los planos batimétricos que fueron incorporados al computador a través del programa AUTOCAD, a través de esto se realizó la construcción de secciones transversales y modelos digitales del lecho. Se identificaron las zonas que muestran evidencias de movimiento de sedimentos. Se analizó la correlación de los datos de niveles del río, de velocidad de la corriente y caudales. Se aplicaron los modelos de Hjulström y Visher para cualificar el movimiento de los sedimentos. Entre los resultados relevantes se pueden citar los siguientes: el tipo de sedimento presente en el área de estudio corresponde, a arenas de medias a finas y de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos corresponde a arenas mal gradadas (SP). De acuerdo al modelo de Hjulström los sedimentos para mantenerse en transporte requerirán velocidades de corriente entre 0.21 m/s y 0.70 m/s y según el criterio del modelo de Visher los sedimentos son movilizados en mayor medida bajo la modalidad de saltación. Finalmente, se pueden interpretar, a partir del perfil longitudinal del cauce (construido a partir del plano batimétrico), la existencia de ondulaciones en el lecho arenoso que pueden ser dunas o rizaduras

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Echeverría Díaz, Dafnis José	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	V4.506.408
	e-mail	dafnisecheverria2807@gmail.com
	e-mail	
Padilla Flores, Karla Andreina	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	21.264.829
	e-mail	@gmail.com
	e-mail	
Echeverría Coa, Beatriz Carolina	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	21.013.748
	e-mail	beitacaro92@gmail.com
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2024	06	
------	----	--

Lenguaje: Español

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

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-Characterizacion hidrodinámica y movimiento_sedimentos_sector Punta Cuchillo_RíoOrinoco.doc	Application/msword

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q**

R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .

Alcance:

Espacial: Sector Punta Cuchillo, Río Orinoco, Edo Azoátegui, (Opcional)
Venezuela

Temporal: 2024 (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio: Movimiento de sedimentos

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

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

Derechos:

**De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado
“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros
fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,
quien lo participara al Consejo Universitario”**

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.

Gustavo José Aquino Palacio
C.I. No 27.596.438

Auglimar Stephanie Ochoa Torres
C.I. No 27.596.416

Dafnis J. Echeverría D.
C.I. No 4.506.408
Tutor Académico