

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



**ESTUDIO MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS
MORFOLÓGICOS DE LA MÁRGEN IZQUIERDA
DESCENDENTE DEL RÍO ORINOCO ENTRE LAS
PROGRESIVAS MILLA 446 Y MILLA 458, ESTADO GUÁRICO,
VENEZUELA, OCURRIDOS DURANTE EL PERÍODO 1992 -2021**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR LOS BACHILLERES
BLANCO S., JORGE L. Y
RODRÍGUEZ M., JEORGE
L. PARA OPTAR AL
TÍTULO DE GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, MAYO 2022



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

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: **“ESTUDIO MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS MORFOLÓGICOS DE LA MÁRGEN IZQUIERDA DESCENDENTE DEL RÍO ORINOCO ENTRE LAS PROGRESIVAS MILLA 446 Y MILLA 458, ESTADO GUÁRICO, VENEZUELA, OCURRIDOS DURANTE EL PERÍODO 1992 -2021.”**, presentado por los bachilleres, **JORGE LUIS BLANCO SISO** de cédula de identidad No **25.036.226** y **JEORGE LUCIANO RODRÍGUEZ MARTÍNEZ** de cédula de identidad No **25.493.216**; como requisito parcial para optar al título de **GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

Nombre:

Firma:

Prof. Dafnis Echeverría D.

(Asesor)

Prof. Francisco Monteverde

(Jurado)

Prof. Katheuska Roura.

(Jurado)

Prof. Rosario Rivadulla.
Jefe de Dpto. de Geología.

Prof. Francisco Monteverde
Director Escuela de Ciencias de la Tierra

En Ciudad Bolívar, a los _____ días del mes de Mayo de 2022

DEDICATORIA

A Dios ante todo, al forjador de mi vida, quien supo guiarme por el buen camino y darme y darme fuerzas y salud para continuar, gracias a él he podido concluir mi carrera.

A mis padres por mostrarme el camino a la superación y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, por ser mi fuente de inspiración, mi motivación, por su regocijo, por su amor infinito y puro, quienes con mucho esfuerzo, amor, comprensión y dedicación me ayudaron a cumplir esta tan anhelada meta, los amo.

A mis abuelos y tías quienes fueron parte fundamental de este logro, dándome su apoyo incondicional, por tenderme su mano siempre que lo necesite, por su invaluable apoyo, amor y espíritu alentador.

Jorge Luis Blanco Siso

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerzas día a día para continuar este proceso de obtener uno de las metas más deseadas.

Gracias a mis madres: Carlita Martínez y Gregorio Armando Rodríguez, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los valores, consejos y principios que me han inculcado.

A mis hermanos: Nazareth Rodríguez y Escarlet Rodríguez por apoyo moral y siempre creer en mí.

Agradezco a los docentes de la universidad de Oriente por haber compartido su conocimiento a lo largo de la preparación de esta profesión, de manera especial, al nuestro tutor Dafne Echeverría tutor de nuestro proyecto de tesis quien a guiado con su paciencia y si rectitud como gran docentes.

A todos mis compañeros y amigos de la universidad por la ayuda y apoyo cuando lo necesite.

George Luciano Rodríguez Martínez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirnos día tras día, por guiarnos a lo largo de nuestra vida, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos difíciles y débiles de este camino tan largo.

A nuestros padres por su gran sacrificio, trabajo y apoyo total en todo momento en todos estos años, gracias a ellos hemos logrado llegar a dónde estamos y convertirnos en lo que somos. Es un honor y privilegio ser sus hijos de todo corazón.

A nuestros hermanos por estar siempre presente y apoyarme moralmente en esta etapa de mi vida. A todas las personas que me han apoyado y han hecho posible que esté en este punto de nuestras vidas, abrieron las puertas y brindaron el conocimiento.

Jorge Luis Blanco Siso

George Luciano Rodríguez Martínez

RESUMEN

El objetivo general de la investigación es “analizar los cambios morfológicos que se han producido en la ribera izquierda descendente entre las progresivas milla 446 y milla 458 del río Orinoco, estado Guárico, Venezuela, ocurridos durante el período 1992 – 2021 producto de la erosión producida por las corrientes fluviales incidentes sobre la mencionada ribera. El trabajo de investigación se enmarcó dentro de las características del nivel de investigación denominada descriptiva aplicando una estrategia o diseño de la investigación documental y de campo. Para la realización de la presente investigación se analizó la geometría de la ribera presentada a través de imágenes de satélite Landsat de la aplicación computarizada *Google Earth*, fotografías aéreas y planos batimétricos del área de estudio propiedad de la CVG – Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco (CVG-GCNO). Asimismo, se determinaron las características morfológicas del lecho del río, mediante la elaboración de secciones transversales que permitió observar las profundidades y construir modelos digitales del lecho. Además se efectuó un análisis del comportamiento hidrodinámico del río, para ello se presentó un hidrograma de niveles del río, correlaciones de caudales, niveles y velocidades de las corrientes utilizando la información de las bases de datos de aforos realizados en el área de estudio por la CVG-GCNO. También se realizó el análisis textural del material del lecho y de las riberas, a través de ensayos granulométricos (según la norma ASTM D422) y ensayos morfoscópicos, los cuales fueron comparados con los resultados de los análisis texturales realizados a los materiales del área de estudio en investigaciones precedentes.. Además se aplicaron los modelos de movimiento incipiente de las partículas de Hjulstrum, y el modelo de Visher para determinar los requerimientos hidrodinámicos de las partículas para ser sometidas a transporte por efecto de las corrientes fluviales. Finalmente, como resultado de la aplicación de la metodología planteada se obtuvieron los siguientes resultados relevantes: los análisis texturales de los sedimentos del lecho y riberas del río Orinoco en el área de estudio arrojó como resultado que se trata de arenas mal gradadas (SP) y que las partículas presentes son predominantemente subredondeadas y subangulosas. Asimismo, el método de Visher permitió determinar que el mecanismo de transporte predominante es el de saltación. Finalmente, estos procesos han coadyuvado en la erosión continuada de la margen izquierda descendente del río en este tramo de acuerdo a las evidencias existentes en la ventana de observación de 1992 al 2021.

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE APÉNDICES	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Formulación del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	6
1.2.1 Objetivo general	6
1.2.2 Objetivos específicos.....	6
1.3 Justificación de la investigación	6
1.4 Alcance de la investigación	7
1.5 Limitaciones de la investigación	8
CAPÍTULO II	9
GENERALIDADES	9
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio	9
2.2 Accesibilidad al área de estudio	11
2.3 Características climatológicas	12
2.3.1 Clima	12
2.3.2 Precipitación	12
2.3.3 Temperatura.....	13
2.3.4 Evaporación.....	13
2.3.5 Insolación.....	14
2.3.6 Humedad Relativa	14
2.3.7 Viento	14
2.4 Geomorfología regional.....	15
2.5 Geomorfología fluvial del río Orinoco.....	16

2.6 Geología regional	17
2.6.1 Provincia Geológica de Cuchivero	17
2.7 Geología local	18
2.8 Hidrografía del río Orinoco	20
2.8.1 Procesos hidrológicos del río Orinoco.....	22
2.9 Características generales del río Orinoco	24
2.10 Características del canal de navegación del río Orinoco en el tramo El Jobal - Matanzas.....	26
2.10.1 Sectores que restringen el canal de navegación del río Orinoco en el tramo El „Jobal – Matanzas	27
2.10.2 Ejecución del mantenimiento del canal de navegación del río Orinoco „en el tramo El Jobal – Matanzas	30
2.11 Patrón de drenaje en el canal y estructuras fluviales.	31
2.12 Caracterización biótica	33
2.12.1 Fauna	33
2.12.2 Ictiofauna	34
2.12.3 Flora.....	35
CAPÍTULO III	36
MARCO TEÓRICO	36
3.2 Bases teóricas	37
3.2.1 Migración de tributarios y formación de islas	37
3.2.2 Clasificación de las islas fluviales	38
3.2.3 Sedimento	40
3.2.4 Fuente de los sedimentos	41
3.2.5 Clasificación de los sedimentos.....	45
3.2.6 Carga total de sedimentos.....	46
3.2.7 El transporte y la acumulación de sedimentos.....	48
3.2.8 Hidrología fluvial	52
3.2.9 Análisis granulométrico por el método del tamizado	54
3.2.10 Forma, redondez y esfericidad.....	55
3.2.11 Método de Visher	57
3.3 Bases legales.....	59
3.3.1 Ley de aguas	59
3.4 Definición de términos básicos.....	61
3.4.1 Afluentes.....	61
3.4.2 Área de inundación	61
3.4.3 Avenida.....	61
3.4.4 Caudal	61
3.4.5 Corte	62
3.4.6 Cuenca hidrográfica.....	62
3.4.7 Derivar	62
3.4.8 Erosión.....	62

3.4.9 Espesor de tongada del hormigón.....	62
3.4.10 Estabilidad	62
3.4.11 Evaporación	63
CAPÍTULO IV	64
METODOLOGÍA DEL TRABAJO	64
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	67
4.4.1 Técnicas de recolección de información	67
4.4.2 Instrumentos para la recolección de datos	68
4.5. Flujograma de la investigación.....	69
4.6 .Procedimiento para el logro de los objetivos.....	69
4.6.1 Recopilación de datos	70
4.6.2 Descripción de la morfología del área de estudio.....	70
4.6.3 Describir los parámetros hidráulicos principales del área de estudio	71
4.6.4 Caracterización textural de los materiales de la margen norte del río	71
4.6.5 Evaluación multitemporal de la variación de la morfología de la margen.....	72
CAPÍTULO V	73
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	73
5.1 Características texturales de los sedimentos del lecho en el área de estudio.....	73
5.1.1 Análisis granulométrico de las muestras	74
5.1.2 Análisis morfoscóptico de las partículas	75
5.1.3 Estimación de los Límites de Atterberg	77
5.2 Condiciones de las corrientes del río en el área de estudio	77
5.3 Mecanismos que generan la erosión y transporte de los sedimentos en el área de estudio.....	80
5.3 Determinación de los Mecanismos de transporte de los sedimentos mediante la aplicación del método de Visher (1969)	83
5.4 Variaciones morfológicas que se han producido en la margen izquierda descendente del río Orinoco en el área de estudio.....	84
5.4.1 Desaparición de la Isla Tarrayero	84
5.4.2 Barras migratorias.....	84
5.4.3 Incremento de concavidad de la costa en ribera norte.....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
Conclusiones.....	93
Recomendaciones	94

REFERENCIAS..... 95
APÉNDICES..... 99

LISTA DE FIGURAS

		Página
1.1	Tramos oficialmente navegables del río Orinoco.....	4
1.2	Tramo El Jobal – Matanzas del canal de navegación del río Orinoco (INC-2004).....	4
2.1	Ubicación relativa del área de estudio en la cuenca hidrográfica del río Orinoco (Yáñez, Méndez, Delgado, Morales, 2000).....	9
2.2	Ubicación relativa del área de estudio en imagen de satélite Landsat (Google Earth, 2022 modificada).....	10
2.3	Ubicación geográfica del área de estudio (Google Earth, 2022 modificada).....	10
2.4	Mapa de ruta de acceso al área de estudio.....	11
2.5	Provincias geológicas del estado Bolívar (Mendoza, 1977 en Rodríguez, 2018).....	18
2.6	Cuenca del río Orinoco (Colmenares, 2019).....	21
2.7	Hidrograma de niveles máximos, medios y mínimos del río Orinoco leídos en el limnómetro de Caicara del Orinoco para el período 1968-2018 (INAMEH, 2018).....	23
2.8	Esquema gráfico del canal navegable (Armada Bolivariana, 2017).....	27
2.9	Tren de gabarras con bauxita en tránsito en el tramo El Jobal – Matanzas del río Orinoco (ACBL de Venezuela, 2000).....	28
2.10	Vista del río Orinoco desde Caicara del Orinoco. Al fondo, ribera norte a la altura de Cabruta.....	30
2.11	Balizaje del canal de navegación (INC, 1990).....	3.1+
2.12	Imagen del proceso típico de formación de islas con erosión de riberas (Awake travel, 2018).....	32
2.13	Tonina del río Orinoco (<i>Innia geofrensis humboldtianay</i>) (Colmenares, 2019).....	34
2.14	Imagen de vegetación típica de la ribera en la zona de estudio (Hurtado, 1999).....	35
3.1	Clasificación de las islas según la posición en el canal fluvial (Miall, A., 1981).....	40
3.2	Diagrama de Hjulström (1935).....	49
3.3	Mecanismos de transporte, tipo de transporte en función de la granulometría. Nótese que los sedimentos menores de 0,1 mm no serán transportados más que por suspensión según Miall, A., (1981).....	49
3.4	Mecanismos de transporte (Miall, A., 1981).....	50
3.5	Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho (Van Rijn, 1989).....	52
3.6	Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla	

	mostrando su medio de transporte (Modificado de Hjulstrom, F., 1935).....	53
3.7	Medición de rodados y la posición de los ejes mayor (a), intermedio (b) y menor (c) (Krumbein, 1941 en Pettijhon, 1957, 1970).....	55
3.8	Forma y redondez de los granos (Modificado Redrawn, 1953).....	57
3.9	Curva de frecuencia acumulada con las poblaciones asociadas al mecanismo de transporte (modificado de Spalleti, 2007).....	58
3.10	Curvas de frecuencia acumulada de arenas de playa (Modificado de Visher, 1969).....	59
4.1	Flujograma de la investigación.....	69
5.1	Ubicación de los puntos de muestreo de suelos.(Imagen de satélite Landsat de Google Earth del 02/09/2015.....	73
5.2	Colocación de suelo seco para tamizado.....	76
5.3	Conteo de partículas de análisis morfosκόpico.....	77
5.4	Correlación Caudal vs Nivel del río en la estación Caicara para el período 1992 -2000.....	79
5.5	Correlación Velocidad de la corriente vs Nivel del río en la estación Caicara para el período 1992 -2000.....	79
5.6	Hidrograma del río Orinoco en la estación limnimétrica de Caicara del Orinoco.....	80
5.7	Aplicación del diagrama de Hjulström a las muestras tomadas... ..	82
5.8	Modelos geomorfológicos de barras laterales adyacentes al 3er Puente. (CVG GCNO, 2008).....	85
5.9	Imagen de satélite mostrando aproximaciones de la línea de ribera precedente (línea segmentada) y la línea de ribera en formación (línea continua) (Google Earth, 2022 modificada por Blanco y Rodríguez).....	86
5.10	Ribera izquierda descendente del área de estudio (archivo fotográfico de Echeverría, D., 2000).....	87
5.11	Torre T4 de CORPOELEC, nótese restos de los gaviones en la ribera, ya mostrando daños por el intemperismo (Echeverría, 1998). ..	87
5.12	A la izquierda Imagen de satélite Landsat mostrando a la Torre T4 a 400 m de la ribera, dentro del cauce del río Orinoco para el 02/09/2015 (Google Earth, 2022). Al centro imágenes de la torre a 220 m de la ribera para el año 2008. A la derecha, restos de enrocado de los viejos gaviones de protección construidos en la ribera en el año 1992 (Huascar, C.A., 2008).....	88
5.13	Fracción de la carta náutica O-B-56 del área de estudio donde se ubica a la torre de CORPOELEC en la ríbera izquierda descendente (INC, 1998),.....	89
5.14	Comparación de secciones transversales del cauce entre las millas 455 y 457 de los años 1998 a la derecha y 2007 a la izquierda.....	90
5.15	Imágenes MDT entre las millas 455 y 457 correspondientes a los	

años 1998 y 2007.....	91
-----------------------	----

LISTA DE TABLAS

		Página
2.1	Características de las estaciones utilizadas. (CVG-TECMIN 2019)...	11
2.2	Temperatura Máxima, Media y Mínima (°C). Estación Caicara del Orinoco. Período 1996-2016. (CVG-TECMIN 2019).....	13
2.3	Evaporación (mm). Período 1996-2016. (CVG-TECMIN, 2019).....	14
2.4	Barras más importantes que restringen el canal de navegación por el canal Orinoco en el tramo el Jobal – Matanzas (I.N.C .1993).....	29
2.5	Especies de peces más comunes en el río Orinoco (Informe Caura, 1979).....	34
3.1	Clasificación según el tamaño de las partículas de Wenworth (Pettijohn, 1949).....	54
5.1	Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.....	74
5.2	Resultados de los análisis granulométricos de las muestras de suelo tomadas.....	74
5.3	Resultados del análisis morfoscópico de las partículas.....	77
5.4	Registros de aforos en la estación Caicara. Período 1992 – 2000.....	78
5.5	Velocidades críticas de erosión – depositación, de sedimentos no cohesivos.....	83
5.6	Rangos y porcentajes de la fracción de suelos que se mueven por suspensión, saltación y tracción.....	84

LISTA DE APÉNDICES

Página

	APÉNDICES	
A	DATOS Y CURVAS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	100
	A.1 Análisis granulométrico de la muestra 1.....	101
	A.2 Curva de distribución granulométrica de la muestra 1.....	101
	A.3 Análisis granulométrico de la muestra 2.....	102
	A.4 Curva de distribución granulométrica de la muestra 2.....	102
	A.5 Análisis granulométrico de la muestra 3.....	103
	A.6 Curva de distribución granulométrica de la muestra 3.....	103
	A.7 Análisis granulométrico de la muestra 4.....	104
	A.8 Curva de distribución granulométrica de la muestra 4.....	104
	A.9 Análisis granulométrico de la muestra 5.....	105
	A.10 Curva de distribución granulométrica de la muestra 5.....	105
B	HISTOGRAMAS DE LOS ANÁLISIS MORFOSCÓPICOS...	106
	B.1 Histograma del análisis morfosκόpico de la muestra 1.....	107
	B.2 Histograma del análisis morfosκόpico de la muestra 2.....	107
	B.3 Histograma del análisis morfosκόpico de la muestra 3.....	108
	B.4 Histograma del análisis morfosκόpico de la muestra 4.....	108
	B.5 Histograma del análisis morfosκόpico de la muestra 5.....	109
C	ESTIMACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG.....	110
	C.1 Estimación de límite líquido y límite plástico de la muestra 1..	111
	C.2 Estimación de límite líquido y límite plástico de la muestra 5..	112
D	CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE VISHER.....	113
	D.1 Curva granulométrica según Visher. Muestra 1.....	114
	D.2 Curva granulométrica según Visher. Muestra 2.....	114
	D.3 Curva granulométrica según Visher. Muestra 3.....	115
	D.4 Curva granulométrica según Visher. Muestra 4.....	115
	D.5 Curva granulométrica según Visher. Muestra 5.....	116
E	DATOS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES BATIMÉTRICAS.....	117
	D.1 Datos de secciones transversales del tramo entre la milla 455 a la milla 457 del plano batimétrico 11-1998.....	118

	E.2 Datos de secciones transversales del tramo entre la milla 455 a la milla 457 del plano batimétrico 07-2007.....	119
--	---	-----

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo considera como objeto de estudio realizar un análisis de los cambios morfológicos que se han operado entre las progresivas milla 446 y milla 458 de la margen izquierda descendente del río Orinoco durante el período 1992 –2021. Este estudio está vinculado a la necesidad de mantener un conocimiento cercano a la dinámica fluvial en cuanto al auto-modelamiento de su cauce mediante los continuos procesos de erosión, transporte y depositación de los sedimentos.

En ese sentido, se desarrollará una investigación de nivel descriptivo con un diseño o estrategia formal de investigación documental y de campo. Para ello se llevarán a cabo diversas actividades tales como: descripción de la geometría de las riberas y del lecho en el área de estudio, caracterización textural de los sedimentos presentes en las riberas y lecho del área de estudio. También se caracterizará hidráulicamente las corrientes fluviales mediante la información de aforos existentes en la CVG-GCNO. Se efectúa también la comparación de la morfología de la ribera del río en el área de estudio mediante imágenes de satélite, fotografías aéreas, cartas de navegación y planos batimétricos. Se aplican los modelos que cuantifican las necesidades de las partículas para erosionarse, transportarse y depositarse. Finalmente, se concluye sobre los cambios morfológicos producidos y sobre las posibles tendencias futuras de cambios en las riberas del área de estudio.

El trabajo de investigación se encuentra estructurado en cinco capítulos, como se describe a continuación:

El Capítulo I contiene la formulación del problema, los objetivos de la investigación: objetivo general, específicos, la justificación, el alcance y las limitaciones.

El Capítulo II expresa las generalidades del área de estudio como son, su ubicación geográfica, el acceso al área, las características físicas y naturales y la geología regional y local de dicho sector.

El Capítulo III contiene el marco teórico y los antecedentes de la investigación, el cual sirvió de base para la indagación y esclarecimiento de diversos elementos comprendidos en la investigación. Además, contiene los fundamentos teóricos, las bases legales y la definición de términos básicos que se requieren para el desarrollo del tema.

El Capítulo IV corresponde a la metodología utilizada al realizar la investigación, la población y muestra objeto de estudio, las técnicas e instrumentos empleados para obtener la información, así como los pasos requeridos para realizar la investigación.

El Capítulo V expresa el análisis e interpretación de los datos obtenidos a lo largo del desarrollo de la investigación, para finalmente presentar las conclusiones, recomendaciones, bibliografía utilizada y apéndices necesarios.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Formulación del problema

La presencia del hombre sobre el planeta Tierra obedece a una conjunción de factores que han coadyuvado a su desarrollo e implantar su hegemonía sobre el orbe. Por otra parte, su necesidad de agua como insumo imprescindible para su vida, lo ha llevado a establecer su morada en la cercanía de los cuerpos de agua dulce, de tal forma que le garantice su permanencia y vida.

El principal curso de agua dulce en Venezuela lo constituye el río Orinoco y es de todos conocidos su importancia y relevancia internacional debido a su caudal y longitud. Así mismo, el Orinoco es fuente de alimento y agua para todos los habitantes de su cuenca y por otra parte, se ha constituido, desde siempre, como la vía natural para el transporte de los bienes que se desean acarrear desde el interior de su cuenca hacia otras latitudes y viceversa.

El río Orinoco como vía fluvial permite el tránsito de buques hasta de 80000 tm de peso muerto en el tramo desde el estuario de la desembocadura en el océano Atlántico hasta Puerto Ordaz; mientras que el tramo desde Matanzas hasta el Jobal se movilizan los trenes de gabarras que transportan la Bauxita que es extraída en los Pijiguaos; sin embargo, este segundo tramo de la vía de navegación (El Jobal – Matanzas) tiene una alta variabilidad en su alineación, la cual depende de parámetros texturales del suelo del lecho y márgenes del cauce, de parámetros hidráulicos, y de los mecanismos sedimentológicos de la vaguada del río.

cúbicos anuales a todo lo largo de su cauce. Estos materiales se erosionan, transportan y depositan en el río obedeciendo a las condiciones hidrodinámicas y geomorfológicas presentes las cuales varían a lo largo del ciclo hidrológico anual del río.

En ese orden de ideas y debido a que entre las progresivas milla 446 y milla 458 del río Orinoco se ha tornado un tramo altamente variable en cuanto a la configuración del cauce y estabilidad de sus márgenes, se le ha considerado como un sector crítico del tramo El Jobal – Matanzas del río Orinoco en cuanto a los aspectos mencionados, se plantea como problemática de investigación la necesidad de conocer con mayor detalle todas las circunstancias involucradas en el movimiento de sedimentos en el área de estudio.

Dado el planteamiento anterior cabe formular las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuáles son las características texturales de los sedimentos presentes en el cauce y márgenes del río Orinoco en la zona de estudio?

¿Cuáles son las condiciones del flujo del río Orinoco en el área de estudio?

¿Cuáles son los mecanismos principales que rigen la erosión de las márgenes y el transporte de los sedimentos en el área de estudio?

¿Cuáles son las evidencias de variaciones morfológicas de las márgenes en el área de estudio?

1.2 Objetivos de la investigación

Los objetivos de la investigación se definen a continuación:

1.2.1 Objetivo general

Efectuar un estudio multitemporal de los cambios morfológicos de la margen izquierda descendente del río Orinoco entre las progresivas milla 446 y milla 458, estado Guárico, Venezuela, ocurridos durante el período 1992 – 2021.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Determinar las características texturales de los sedimentos de las márgenes del río Orinoco en el área de estudio.
2. Caracterizar las condiciones de las corrientes del río que modelan las riberas y el cauce del río Orinoco en el área de estudio.
3. Describa los mecanismos que generan la erosión de las márgenes del río y los mecanismos de transporte de los sedimentos en el área de estudio.
4. Describir las variaciones morfológicas que se han producido en la margen izquierda descendente del río Orinoco en el área de estudio.

1.3 Justificación de la investigación

Entre las progresivas milla 446 y la milla 458 del río Orinoco, por encontrarse inmediatamente aguas abajo de la ubicación del tercer puente sobre el río Orinoco se presume que será objeto de los procesos de transporte, erosión y sedimentación que

generarán los nuevos obstáculos que constituyen los sistemas de pilares del citado puente.

Por otra parte, es importante señalar que existe otra infraestructura aguas abajo del puente que está constituida por un tramo del canal de navegación el cual ha sufrido procesos de variabilidad temporal durante los alternados períodos de aguas altas y bajas. Este sector es navegado durante, aproximadamente, ocho (8) meses al año por las embarcaciones (trenes de gabarras que transportan el mineral de bauxita (extraída en Los Pijiguaos) desde el puerto El Jobal hasta el sector Matanzas en Ciudad Guayana. Otro factor que le confiere importancia al área de estudio está directamente vinculado con el hecho de que a través de él cruzan el río (entre los estados Bolívar y Guárico) líneas de transmisión de energía eléctrica las cuales suministran el servicio eléctrico a varias poblaciones de la zona.

Por otra parte, este sector se encuentra inmediatamente aguas abajo de la ubicación donde actualmente se construye el tercer puente sobre el río Orinoco. En vista de estas circunstancias, es vital conocer de manera cabal las características hidro-sedimentarias de esta parte del río Orinoco que permitan conocer o predecir las tendencias o cambios que pudiese sufrir el cauce y riberas del río en el mediano y largo plazo y planificar con éxito acciones ingenieriles o mejoras a las obras civiles existentes.

1.4 Alcance de la investigación

En esta investigación se plantea hacer una revisión de las características texturales de los sedimentos del cauce y de las riberas, de las condiciones del flujo del agua en el sector de estudio en función a los niveles que alcanza la superficie del agua y de las magnitudes de la velocidad de la corriente y el caudal del río. Asimismo, se describirá geomorfológicamente las márgenes y el cauce del río en el área de estudio

para posteriormente, describir y analizar las evidencias, causas y consecuencias de la variabilidad geomorfológica temporal que ocurre o se produce en el área de estudio.

1.5 Limitaciones de la investigación

Para el momento de elaboración del presente proyecto de investigación no se han detectado obstáculos o dificultades significativas que dificulten el desarrollo de la misma. Sin embargo, se debe acotar que la información de aforos del río Orinoco no ha sido actualizada en más de una década por falta de continuidad en las campañas de mediciones por parte de los entes gubernamentales responsables de las mismas como la CVG Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco (CVG GCNO).

CAPÍTULO II GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada al Noreste (NE) de la localidad de Caicara del Orinoco, en el municipio Cedeño del estado Bolívar, específicamente en la ribera norte o ribera izquierda descendente del río Orinoco. El área de trabajo se ubica entre las coordenadas UTM (huso 19 N, elipsoide WGS-84) de los meridianos E 810000 y E 825350; y de los paralelos N 853000 y N 846700 (Figuras 2.1, 2.2 y 2.3).

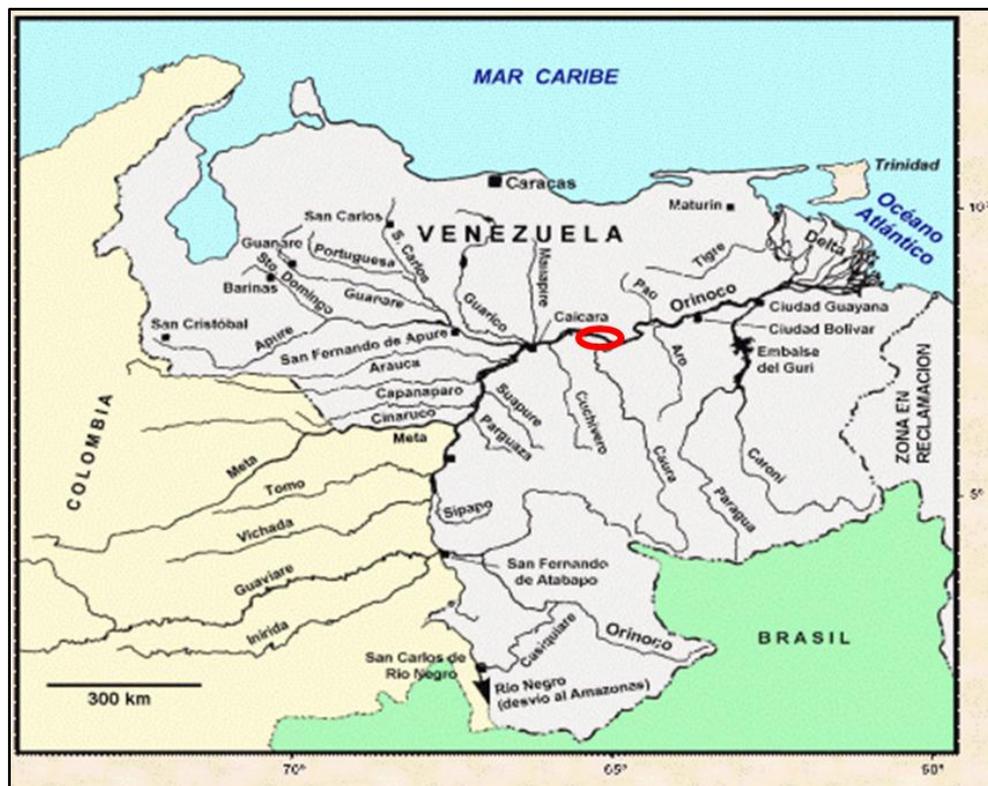


Figura 2.1 Ubicación relativa del área de estudio en la Cuenca hidrográfica del río Orinoco (Yanez, Méndez, Delgado, Morales, 2000).



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



Figura 2.3 Ubicación geográfica del área de estudio (Google Earth, 2022 modificada).

2.2 Accesibilidad al área de estudio

El acceso a la zona de estudio es por vía terrestre partiendo de Ciudad Bolívar, hasta Caicara del Orinoco, esta movilización se realiza por carretera asfaltada (Troncal 19) con una distancia de 365 Km, aproximadamente, luego por vía fluvial se toma una embarcación en el puerto de la CVG-GCNO (Base Caicara), donde se navegan tres (3) millas náuticas en dirección oeste aproximadamente aguas abajo hasta llegar al área de estudio (figura 2.3).



Figura 2.4 Mapa de ruta de acceso al área de estudio.

2.3 Características climatológicas

2.3.1 Clasificación climática

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen en el área de estudio se presenta un clima Tropical de Sabanas (Awg'i), en el cual el período cálido es continuo, debido a que el mes más frío tiene una temperatura promedio mayor a 18 °C.

Según Holdridge, en la zona predomina la zona de vida Bosque Seco Tropical (Bs-T), con precipitación alrededor de los 1600 mm. Asimismo, y de acuerdo a Thornthwaite, el clima va de subhúmedo a seco, con gran exceso de agua en el verano astronómico y megatérmico o cálido (C₁W₂A'á'). (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Características de las estaciones Utilizadas. (CVG-TECMIN 2019).

ESTACIÓN	TIPO	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	ALTITUD (MSNM)	ORGANISMO
Cabruta	Pr	07° 39' 17''	66° 14' 33''	45	MINAMB
Caicara del Orinoco	C2	07° 37' 56''	66° 09' 47''	40	MINAMB

2.3.2 Precipitación

El área de estudio recibe 1600 mm de lluvia anual. El régimen de distribución anual, revela una curva pluviométrica de tipo unimodal, es decir se presenta un solo máximo durante el año, el cual se manifiesta durante el mes de agosto con un promedio de precipitación de 340 mm, aproximadamente. El período lluvioso se manifiesta en el lapso de Abril hasta Octubre, registrándose en este período más del 95% del total de la precipitación. La temporada seca o de menor precipitación abarca

los meses de Noviembre a Marzo, siendo Enero el mes más seco del año con una precipitación menor a 5 mm.

2.3.3 Temperatura

La temperatura media anual en el área de estudio está alrededor de los 27° C. La variación de el régimen anual de temperatura es bimodal (ocurren dos máximos durante el año), el máximo principal en los meses de marzo o abril y el secundario en octubre o noviembre. Los valores más bajos se registran durante la época de lluvias, ocurriendo la temperatura media más baja en junio y julio. La amplitud térmica media anual es inferior a 5° C lo que indica la condición isotérmica del área de estudio. (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Temperatura Máxima, Media y Mínima (°C). Estación Caicara del Orinoco. Período 1996-2016. (CVG-TECMIN 2019).

Estadísticos	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Máxima	32.4	33.3	34.0	33.8	33.1	31.6	31.3	31.3	31.7	32.1	32.2	32.0	32.4
Media	26.9	27.6	28.1	28.2	27.6	26.4	26.3	26.4	26.8	27.3	27.3	26.6	27.1
Mínima	22.7	23.1	23.8	23.9	23.5	22.9	22.7	22.9	23.2	23.8	23.8	23.1	23.3

2.3.4 Evaporación

El área de estudio se caracteriza por registrar una tasa de evaporación alta, con un promedio total anual de 2.200 mm. Durante el año la evaporación alcanza dos máximos, el principal se manifiesta en Marzo y el secundario entre los meses de Noviembre y Diciembre. El valor más bajo de evaporación se puede observa durante el mes de Julio, es decir en época de mayor precipitación. (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Evaporación (mm). Período 1996-2016. (CVG-TECMIN, 2019)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Caicara del Orinoco	214	215	269	227	197	155	145	157	161	175	185	185	2284

2.3.5 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. Mediante el análisis del mapa de isolíneas de insolación elaboradas por CVG – TECMIN, C.A, para el área cubierta por la hoja de radar NB – 19 – 04, se estima un valor promedio anual de insolación para el área de estudio de 7.6 horas de brillo solar, con valores altos AMB (entre 7 y 9 horas), en la época seca y mínimos durante el invierno debido a la alta nubosidad que se presenta en la zona para este período.

2.3.6 Humedad Relativa

Según el análisis del mapa de isolíneas de humedad relativa, se estima que ésta varía en el área de estudio entre 70% y 75%, aproximadamente. Del análisis de los datos de humedad relativa de estaciones cercanas al área de estudio, localizadas en el mismo tipo de clima, se puede inferir que el comportamiento anual de esta variable refleja valores altos, superiores al 75%, en la época de lluvias y mínimos en el lapso de mayor sequía (Enero – Febrero).

2.3.7 Viento

La descripción del viento está basada en el análisis macro espacial de las líneas de flujo y en el comportamiento de esta variable en zonas similares al área de estudio

(homogeneidad climática) con información. De acuerdo a lo antes expuesto, se tiene que el régimen de vientos, en el área de estudio, está determinado por los vientos alisios y afectados por la zona de convergencia intertropical (ITC) y las diferencias de absorción del calor de las superficies expuestas. Se estima que la dirección predominante del viento sea este – noreste (ENE), con velocidades variables en un rango de 15 a 20 km/h. (CVG – TECMIN, 2.019).

Durante el período de diciembre a marzo hay mayor influencia de los vientos alisios del noreste (vientos cálidos y no saturados), por lo tanto es en esta temporada donde se deben registrar las mayores velocidades del viento. En la época de lluvias la zona está más influenciada por la convergencia intertropical, predominando el ascenso conectivo y la formación de nubes de gran desarrollo vertical (cumulonimbos), por lo que se debe esperar que la velocidad del viento disminuya.

2.4 Geomorfología regional

a - Llanura aluvial del río Orinoco.

b.- Planicie perteneciente a las sabanas del Caura, Sipao, Tucuragua, Cuchivero, Cucuiza, Quirabana, Guarataro, etc., cuyas elevaciones fluctúan entre 40 y 90 m.

c. – Relieve casi plano y otros semi-montañosos con altitudes que varían de 90 y 400 m, donde existen sabanas altas relativamente plana así como aéreas semi-montañosos que están recostadas sobre las serranías de Chaviripa, La Cerbatana y el cerro El Tigre.

d. – Zona situada por encima de los 400 m de altitud ubicada entre las planicies del Caicara y Cuchivero.

2.5 Geomorfología fluvial 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 Orinoquense, 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 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.

2.6 Geología regional

El área de estudio se encuentra constituida principalmente por rocas pertenecientes a la Provincia Geológica de Cuchivero, la cual es de edad Proterozoica. Todas estas a su vez están cubiertas por un manto de origen residual, y otros de origen depositacional (aluviones) los cuales pertenecen al período Cuaternario época reciente.

2.6.1 Provincia geológica de Cuchivero

Según el Léxico Estratigráfico de Venezuela (1949), la Provincia de Cuchivero ocupa la parte occidental del escudo guayanés venezolano y se extiende al sureste de Guyana, Surinam y la Guyana Francesa. En Venezuela tiene su mayor desarrollo hacia la parte occidental del estado Bolívar, al Oeste del río Caura.

Litológicamente, la Provincia está compuesta por grandes extensiones de rocas plutónicas de emplazamiento epizonal y epimesozonal además de rocas metavolcánicas y metasedimentarias, estas últimas en menor proporción. Dentro de las rocas plutónicas predominan los granitos alcalinos, granitos y cuarzomonzonitas con granodioritas y tonalitas menos frecuentes y escasas dioritas. La Provincia de Cuchivero representa un período de tiempo entre 1400 y 1900 millones de años y parece haberse desarrollado sobre una corteza continental preexistente.

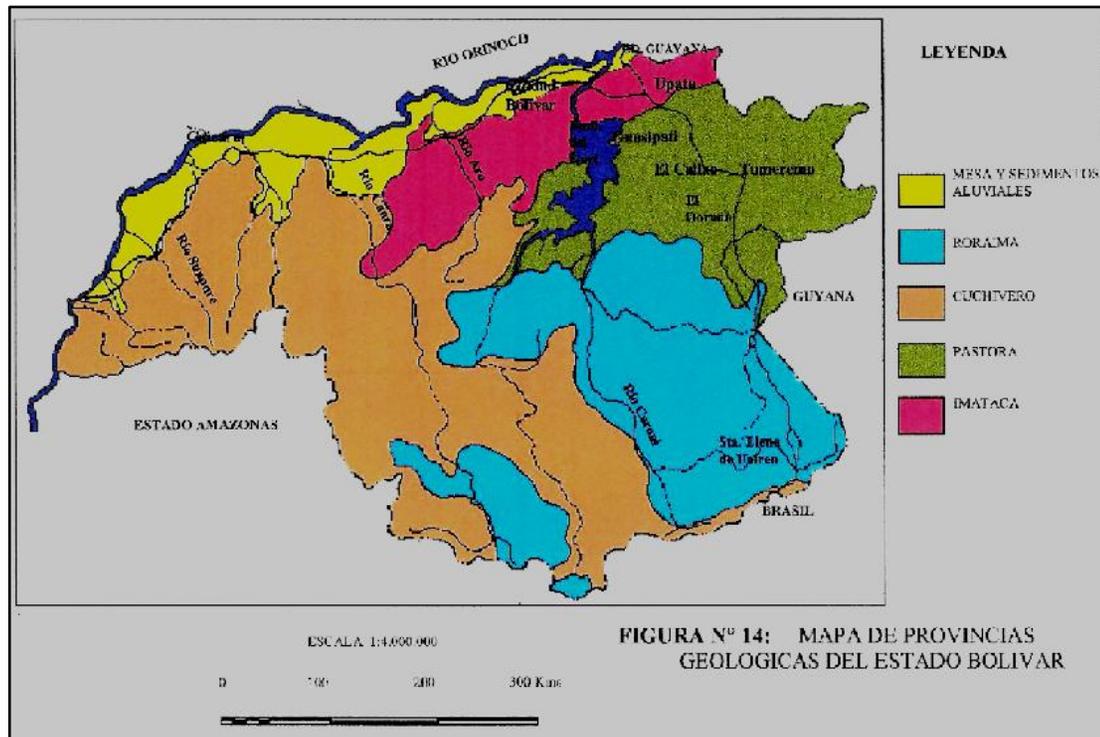


Figura 2.5 Provincias geológicas del estado Bolívar (Mendoza, 1977 en Rodríguez, 2018).

2.7 Geología local

En el entorno local la geología está conformada por sedimentos dispuestos en un relieve de llanura aluvial y vegas de la planicie de inundación del río Orinoco, representado por la unidad Qr.

Cubre toda el área de estudio, constituye un complejo de orillar y zona de vegas adyacentes con una distribución litológica irregular que va desde arenas a arcillas de color marrón, gris y negro. Suelos pobremente drenados que permanecen inundados, aproximadamente, la mitad del año.

Constituyen depósitos de sedimentos de edad cuaternaria, aportados principalmente por el río Orinoco y sus afluentes, que han originado una extensa franja

aluvial a lo largo de sus cursos; en donde, dependiendo de la naturaleza del tipo de actividad fluvial y de la naturaleza de los materiales que atraviesen los cursos de agua, es posible diferenciar el área que corresponde a la inundación estacional producida por el río Orinoco de las planicies aluviales de los afluentes de dicho río.

El tipo de paisaje corresponde a una planicie depositacional, ligeramente disectada a inundable, que presenta un sólo tipo de relieve: la llanura de inundación, con micro-relieves irregulares asociados, debido al efecto de las frecuentes inundaciones en época de caudales máximos, lo que origina lagunas, esencialmente de carácter permanente.

Estas llanuras de inundación están constituidas fundamentalmente por la acumulación de sedimentos aluviales; los cuales son aportados, principalmente, por el río Orinoco que, atendiendo a la dinámica depositacional, conforma sistemas de acumulaciones libres y por decantación.

Es notable la presencia de bancos o diques aluviales, explayamientos y cubetas de decantación en conjunto con lagunas, de formas y dimensiones diferentes; éstas son producidas por los procesos de inundación.

Localmente existen sedimentos de edad cuaternaria, aportados, principalmente por el río Orinoco, el cual ha originado una franja aluvial. El área corresponde a la que se inunda estacionalmente por el río Orinoco creando una planicie aluvial.

El tipo de paisaje corresponde a una planicie depositacional, ligeramente disectada e inundable, que presenta un solo tipo de relieve: llanura de inundación, con micro-relieves irregulares asociados, debido al efecto de las frecuentes inundaciones en épocas de caudales máximos, lo que origina lagunas, principalmente de carácter permanente.

Estas llanuras de inundación están constituidas fundamentalmente por la acumulación de sedimentos aluviales, los cuales son aportados por el río, que atendiendo la dinámica depositacional, conforma sistemas de acumulaciones libres y acumulaciones por decantación. Es notable la presencia de bancos o diques aluviales, explayamientos y cubetas de decantación en conjunto con lagunas, de formas y dimensiones diferentes; estas son producidas por procesos de inundación.

Hacia las aéreas de mayor energía, se presentan acumulaciones sucesivas de barras fluviales, con canales paralelos que en época de estiaje, se aíslan del curso principal del Orinoco. La formación de albardones o diques naturales, en cada margen del canal de estiaje, es una constante de esta planicie de inundación estacional. La zona manifiesta una depresión topográfica marginal.

También es notable la presencia de domos y lomas casi aislados testigo de un modelado de disección sumergido por los sedimentos aluviales. Por lo tanto los tipos de sedimentos en la planicie de inundación del Orinoco, depende de la energía del ambiente. Arenas finas y gruesas se encuentran en las barras fluviales, de corrientes anastomosadas y en las barras del fondo del cauce; limos arenosos en los albardones, la vegetación que caracteriza, generalmente, a estas zonas es boscosas (típica de rebalse), asociada en algunos casos a matorrales densos.

2.8 Hidrografía del río Orinoco

El río Orinoco posee una cuenca hidrográfica que abarca un área de aproximadamente 990000 km cuadrados de los cuales 640000 están en territorio venezolano y 350000 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 barrancas.

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).

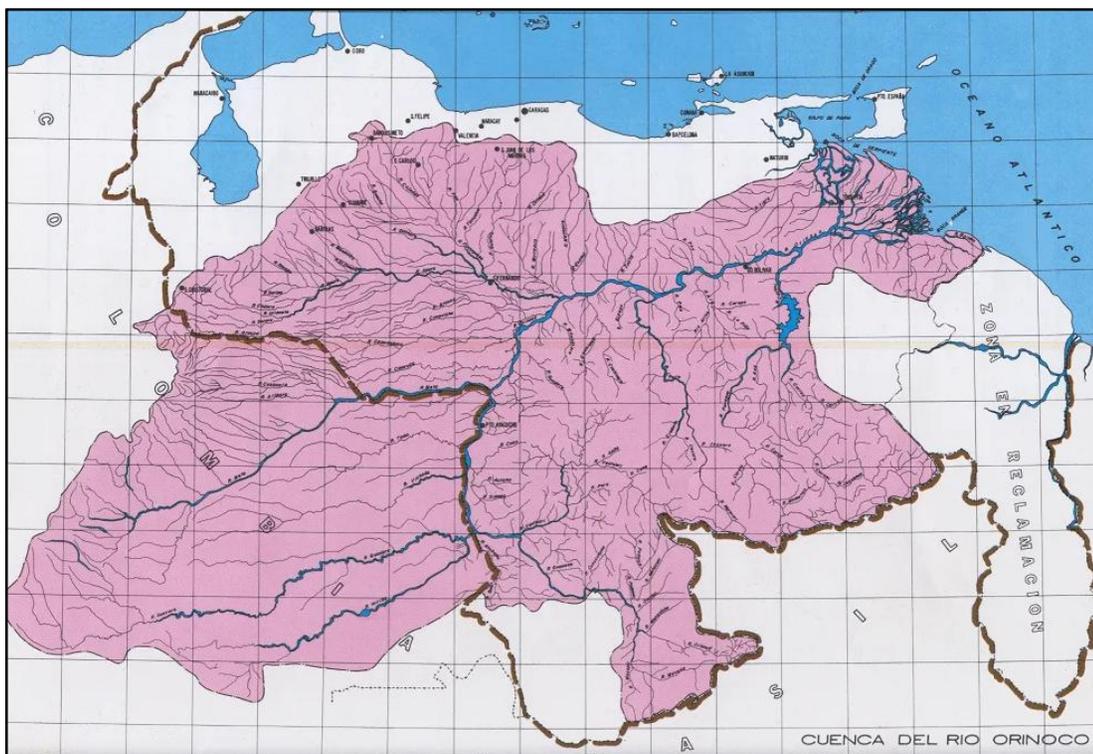


Figura 2.6 Cuenca del río Orinoco (Colmenares, 2019).

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

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

El caudal varía considerablemente en función de los cambios de la pluviosidad, pudiéndose separar los momentos de crecidas o períodos de caudal mayor ligados a estaciones pluviosas y los estiajes o períodos de débil caudal (período 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 medida de la vegetación, de la naturaleza de los suelos y del sustrato geológico).

2.8.1 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. En la figura siguiente se presenta el hidrograma de niveles máximos, medios y mínimos del río Orinoco medidos por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC) en la estación limnimétrica de Caicara del

Orinoco; sin embargo, el hidrograma fue elaborado por el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMEH).

Es necesario hacer la acotación que usualmente los hidrogramas que se construyen con la información de los limnímetros ubicados en el tramo El Jobal – Matanzas son elaborados con base a niveles referidos al datum nivel medio del mar (nmm) (figura 2.7). Sin embargo, como medida referencial práctica, para facilitar la medición del calado disponible para el tránsito de buques de gran porte (80000 toneladas de peso muerto) el Instituto Nacional de Canalizaciones elabora los hidrogramas de niveles del río Orinoco correspondientes a las estaciones limnigráficas ubicadas en el tramo Matanzas – Boca Grande basados en niveles referidos al datum Nivel de Aguas Bajas (NAB).

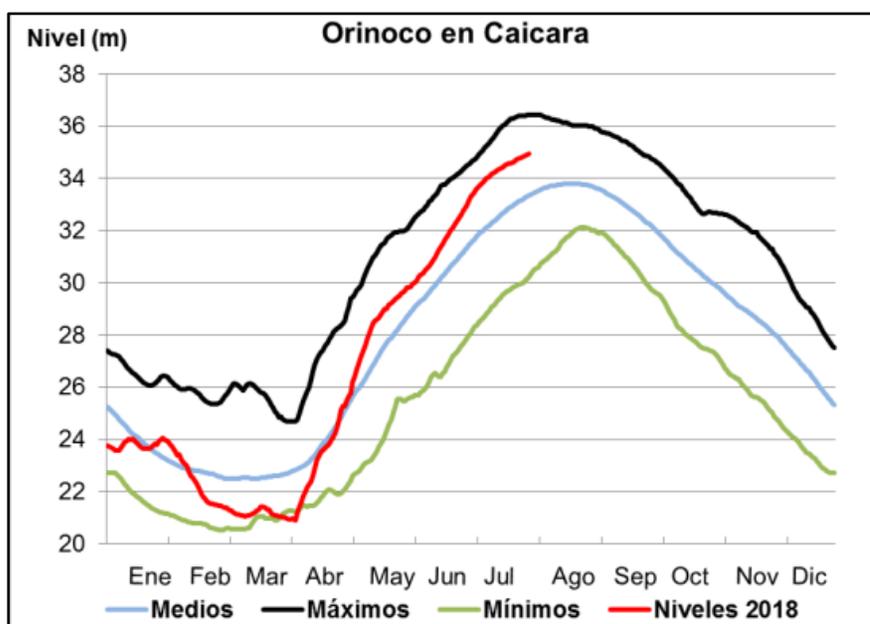


Figura 2.7 Hidrograma de niveles máximos, medios y mínimos del río Orinoco leídos en el limnómetro de Caicara del Orinoco para el período 1968-2018 (INAMEH, 2018).

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), expírales de meandros, restos de paleocauces 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).

2.9 Características generales del río Orinoco

El río Orinoco drena una cuenca de $1,1 \times 10^6$ Km² compartida entre Venezuela y Colombia y una longitud de 2.063 Km. Tiene su nacimiento en el estado Amazonas en la Sierra Parima Cerro Delgado Chalbaud (1.047 m.s.n.m.) y a partir de la confluencia del Guaviare forma frontera con Colombia hasta la confluencia con el Meta, a partir de la cual separa a los estados Apure, Guárico, Anzoátegui y Monagas a la izquierda, del estado Bolívar a la derecha. Cuando empieza el delta, se abre formando el estado Delta Amacuro, ubicado entre Monagas a la izquierda del Caño Mánamo y, por el lado derecho, el estado Bolívar y la Guayana Esequiba (Guyana).

La gran cuenca del Orinoco es la más grande del país, y dentro del territorio nacional ocupa aproximadamente el 70% de esta superficie. El Orinoco es drenado en sus dos márgenes; en su margen derecha, depositan todos los ríos correspondientes a la zona de Guayana, es decir, los que cursan por las altiplanicies del macizo, y los correspondientes a las penillanuras, entre los que se encuentran Caroní, Caura, Aro, Pao, Cuchivero y Ventuari esta margen se identifica geográficamente al sur del río Orinoco. Su otra margen (la izquierda), ubicada al norte del río, recauda las aguas de

una gran variedad de ríos, en su mayoría, provenientes de los llanos venezolanos, con algunas excepciones correspondientes a ríos colombianos, en su nacimiento, como lo son por ejemplo, el Meta y el Arauca.

En Venezuela, los ríos que alimentan al Orinoco por la margen norte se encuentran ubicados a lo largo de los llanos occidentales, centrales, y orientales, entre ellos destacan el Apure con tributarios del Guanare, Portuguesa y Guárico entre otros; el Cinaruco, el Cunaviche, el Capanaparo son ríos de poco caudal en épocas de sequía, pero en las temporadas lluviosas (julio-septiembre) son de gran aporte para el Orinoco. El río Orinoco tiene una capacidad enorme de variación, que se explica no sólo por los cambios estacionales sino también por efectos derivados de la interacción entre la topografía de fondo, las riberas y la corriente del río, que favorecen o limitan las condiciones de mezcla, así como la resuspensión o hundimiento de las masas de agua y los sedimentos.

Se caracteriza por poseer una planicie de inundación muy amplia a ambas márgenes, donde el área de la planicie de inundación es mayor en la margen izquierda, lo cual se atribuye a la mayor cantidad de sedimentos transportados por los ríos tributarios de la margen izquierda, en comparación con los ríos que drenan del Macizo Guayanés en la margen derecha. En ellas se encuentran lagunas, las cuales están íntimamente ligadas con la dinámica fluvial del río.

Desde el punto de vista hidrológico el canal del río y su plano de inundación se consideran como una unidad, ya que el agua y los sedimentos son comunes para ambas áreas. En los meses de Agosto y Septiembre suele haber una lámina de agua casi continua.

2.10 Características del canal de navegación del río Orinoco en el tramo El Jobal - Matanzas

Este canal fue diseñado para ser navegado en épocas de aguas medias y altas, durante un tiempo aproximado de ocho meses de Mayo a Diciembre, siendo sus principales características:

- a. Longitud: 350 millas (682.2 Km.).
- b. Ancho: variable, mínimo 100 m.
- c. Material del fondo: predominantemente arenas arcillosas blancas, con sectores de fondo rocoso y otros limos arcillosos.
- d. Sistema de señalización: IALA – SIGNI, compuesto por boyas, boyarines, balizas fijas en tierra y estructuras de peligro.
- e. Usuarios: Moto – empujadores con trenes de gabarras equipados con girocompás, radar, ecosonda y relectores de alto poder.
- f. Navegación: Diurna y nocturna.
- g. Calado mínimo: Nueve (9) pies.
- h. Nivel de referencia: Nivel de aguas bajas (N.A.B).
- i. Nivel del río sobre el N.A.B: 0 a 13 m.
- j. Velocidad de la corriente: 1.5 a 7.5 nudos.
- k. Pendiente natural del río: 0.03 m/Km.
- l. Estaciones:
- m. Época lluviosa: de Abril – Agosto.
- n. Época de sequía: de Septiembre – Marzo.
- o. Visibilidad: (transmisibilidad atmosférica “T”).
- p. Época lluviosa: de 0.000 a 0.05 T (0 – 1 milla).
- q. Época de sequía: de 0.06 a 0.065 T (6 – 7 milla).



Figura 2.8 Esquema gráfico del canal navegable (Armada Bolivariana, 2017).

2.10.1 Sectores que restringen el canal de navegación del río Orinoco en el tramo El Jobal – Matanzas

Este canal de navegación fue diseñado originalmente para ser navegado por trenes conformados de doce (12) gabarras, pero con las mejoras introducidas al canal de navegación, especialmente en el sector El Torno, actualmente se navega hasta con trenes conformado por veinticinco (25) gabarras.



Figura 2.9 Tren de gabarras con bauxita en tránsito en el tramo El Jobal – Matanzas del río Orinoco (ACBL de Venezuela, 2000).

La navegación por el canal del río Orinoco en el tramo El Jobal - Matanzas, para el transporte de la Bauxita, se efectúa desde comienzo de Mayo hasta finales de Diciembre, el resto del año la navegación es obstaculizada por barras existentes en diferentes sitios del canal. La variación anual de los niveles del río (aproximadamente 13 metros), actúa sobre estas barras modificando el tamaño y forma de los grandes y numerosos bancos de arenas existentes en estos sectores, cambiando el curso de la vaguada de forma irregular a través del tiempo.

Desde el comienzo de la navegación las doce (12) barras más importantes existentes en el canal, eran las siguientes: Isla Tortuga, La Urbana, Matajey, Boca Zamuro, Boca Apure, Isla Tarrayero, Parmana, las Bonitas, Musiumanuel, Isla Canasto, Isla Guanare y Orocopiche.(Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Barras más importantes que restringen el canal de navegación por el canal Orinoco en el tramo el Jobal – Matanzas (I.N.C .1993).

BARRA	ENTRE MILLAS
ISLA TORTUGA	530.0 – 532.0
LA URBANA	519.8 -528.0
MATAJEY	500.0 – 507.0
BOCA ZAMURO	585.0 – 491.0
BOCA APURE	469.0 – 474.0
ISLA TARRAYERO	448.0 – 455.0
PARMANA	422.0 – 426.0
LAS BONITAS	418.0 – 421.0
MUSIUMANUEL	406.0 – 407.5
ISLA CANASTO	370.0 – 375.0
ISLA GUANARE	322.0 – 328.0
OROCOPICHE	247.0 – 523.0

La Urbana era la que con mayor frecuencia retardaba el inicio de la navegación y la que primeramente la interrumpía. Sin embargo, con el transcurrir del tiempo muchas de estas barras han mejorado en su geomorfología y profundidad para la navegación, tal es el caso que en los últimos cuatro (4) años, las barras de Peñas Negras y Playa Blanca, no eran consideradas críticas para la navegación; actualmente son los sectores que retardan el inicio e interrumpen la navegación.

Por otra parte, el sector Tarrayero – El Troncón es el que ha sufrido mayor cantidad de realineamientos notables, debido a la alta movilidad de los bancos de arena existentes. Actualmente los sectores críticos cubren en su totalidad unas 60.5 millas del total de la extensión del canal, equivalente al 17.2% del mismo, distribuidos a todo lo largo del canal.

qf

El sector el Infierno a pesar de las grandes profundidades que presenta, constituye un riesgo para la navegación motivado a la configuración de la zona, la cual es una curva cerrada, estrecha y de márgenes limitados por formaciones rocosas, originando la presencia de altas y turbulentas corrientes, lo cual restringe el tamaño del tren, por lo difícil de la maniobra, suspendiendo la navegación nocturna en ocasiones en este sector.

2.10.2 Ejecución del mantenimiento del canal de navegación del río Orinoco en el tramo El Jobal – Matanzas

El mantenimiento de este canal natural se realiza atendiendo las variaciones que sufre el río durante sus diferentes períodos hidrológicos anuales:

- Aguas Bajas (Enero – Abril).
- Aguas Medias Ascendentes (Mayo – Julio).
- Aguas Altas (Agosto – Septiembre).
- Aguas Medias Descendentes (Octubre – Diciembre).



Figura 2.10 Vista del río Orinoco desde Caicara del Orinoco. Al fondo, ribera norte a la altura de Cabruta.



Figura 2.11 Balizaje del canal de navegación (INC, 1990).

2.11 Patrón de drenaje en el canal y estructuras fluviales.

El concepto “patrón de drenaje” define la configuración que ofrece el canal o el conjunto de estos, cuando se observa el mapa, vistas o fotos aéreas. Debido a las dimensiones geométricas de grandes ríos como el Orinoco, comparadas con otras corrientes fluviales, es necesario tomar en cuenta la escala de los mapas y la condición de flujo, para definir la extensión del canal sometido a la influencia de los niveles del agua. A gran escala el canal del río Orinoco presenta la configuración de un arco que bordea la zona de contacto entre los sedimentos no consolidados de los llanos, con las rocas cristalinas del escudo Guayanés. Al considerarse escalas geográficas más detalladas, resalta en el patrón morfológico del canal, la existencia de una secuencia no alterada ni regular de relativamente cortos tramos en

contracción, seguidos de expansiones que se repite con diferentes separaciones a lo largo de la extensión del canal, en respuestas al efecto del control litológico y de las estructuras geológicas (Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V.1998).

Tomando en cuenta la sinuosidad, como la relación entre la longitud del valle o de la planicie fluvial en la dirección general del gradiente topográfico, el río Orinoco se comporta como un canal recto, con una diversidad geoformas superpuestas dentro de la planicie fluvial, que no difieren de las encontradas en otros ríos, incluidos los de pequeñas dimensiones.

Dentro del canal resaltan las islas fluviales, barras arenosas (de punta y alternados), dunas (eólicas, fluviales y mixtas), rizaduras eólicas y subacuáticas, afloramientos rocosos en zonas de raudales (rápidos), las cuales pueden experimentar modificaciones al evolucionar con el tiempo y según la condición del flujo.



Figura 2.12 Imagen del proceso típico de formación de islas con erosión de riberas (Awake travel, 2018).

La planicie fluvial, de acuerdo a la extensión, grado de cobertura vegetal y complejidad de los procesos fluviales, presenta diferentes aspectos según el tramo considerado. En un sector donde la planicie tiene amplio desarrollo, tal como ocurre en la zona de confluencia de los ríos de llanuras como se observa en la unión del río Arauca con el río Orinoco por ejemplo, se puede identificar en la siguiente estructura geomórfica-fluviales: canales laterales activos o inactivos, caños y canales tributarios, segmento estrangulado de canales, lagos de media luna (oxbow), espirales de meandros, restos de paleocanales, diques naturales y bancos colonizados por vegetación, depósitos en los bajíos, depósitos de franjas paralelas a los canales actuales o antiguos, lagunas y humedades estacionales o permanentes.

En condición de aguas altas, la configuración de muchas de estas estructuras, se modifican o no se observan en toda su extensión, mientras algunas cobran mayor significación como son las islas fluviales.

2.12 Caracterización biótica

2.12.1 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 Ecosocialismo y Aguas (antes Ministerio del Ambiente y de los Recursos Renovables). 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.

2.12.2 Ictiofauna

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 siguiente tabla muestra algunas variedades de peces del río Orinoco.(Tabla 2.5)

Tabla 2.5 Especies de peces más comunes en el río Orinoco (Informe Caura, 1979).

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



Figura 2.13 Tonina del río Orinoco (*Innia geofrensis humboldtianay*) (Colmenares, 2019).

2.12.3 Flora

Según el informe suministrado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, la vegetación más importante que se puede localizar en el área de Caicara del Orinoco y del futuro 3er Puente sobre el Orinoco, está representada por las siguientes especies:

- a. Algarrobo (*Hymenaea Coubaril*).
- b. Cedro (*Cedrela Augustifolia*).
- c. Pardillo (*Cordia Alliodora*).
- d. Roble (*Platymiscem Pirnatum*).
- e. Salado (*Erisma Uncinatom*).



Figura 2.14 Imagen de vegetación típica de la ribera en la zona de estudio (Hurtado, 1999).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

Guerrero y Malavé (2007), elaboraron una investigación titulada “**ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DEL SECTOR CAICARA – CABRUTA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**”, en el cual se realiza una descripción de los aspectos hidráulicos, geotécnico-texturales y geomorfológicos que prevalecen en el área de estudio y cuyos resultados son un valioso aporte para la investigación que se pretende realizar en el sector Caicara – Cabruta . En este estudio de Guerrero y Malave (2007) se utilizan y aplican criterios y técnicas que son importantes y que son aplicables metodológicamente a la presente investigación.

Marín, L., (2000), elaboró un trabajo de grado titulado “**ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DEL SECTOR ARAMAYA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**”. Dicho trabajo tuvo como objetivo principal describir las condiciones del flujo en cuanto a su velocidad, caudal y niveles, así como también caracterizar texturalmente los sedimentos del lecho de dicho sector. Esta investigación metodológicamente significa un aporte valioso como guía del presente estudio.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Migración de tributarios y formación de islas

A lo largo del tramo fluvial el conjunto tributario experimenta notables cambios y transformaciones del drenaje en las inmediaciones y dentro de la planicie fluvial del río Orinoco.

Esto sucede especialmente en lo relativo al desplazamiento o migración de la confluencia en dirección agua abajo, debido a la obstrucción de las bocas y formación de islas por causa de alto suministro de sedimentos y la movilización por los flujos del río Orinoco, al subir sus niveles durante las crecidas anuales. En este mecanismo los tributarios convergen al Orinoco según su alineamiento Noreste, lo que se acentúa conforme se reduce la pendiente del canal y se forman islas que presentan diferentes estados involutivos. La mayoría de estas estructuras representan estrangulamientos de las planicies fluviales por parte de los canales laterales de desborde del río Orinoco y de tributarios que penetran a la planicie (Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V, 1999).

En algunas islas formadas de esta manera, subsisten las trazas de los canales tributarios que antiguamente descargaban al Orinoco en el canal principal y que ahora lo hacen en el canal lateral, después de formarse la isla, lo que indica que estas fueron preexistentes extensiones de la planicie fluvial del río Orinoco, separadas de la planicie e incorporadas al interior del canal mediante el mecanismo antes descrito (Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V, 1999).

Por lo antes mencionado, el tramo fluvial del río Orinoco se caracteriza por complejos procesos depositacionales en la planicie fluvial, con activa migración de los tributarios y crecimiento de los depósitos en su borde occidental.

Esto contribuye a que el río Orinoco se confine hacia el borde del escudo de Guayana donde los procesos depositacionales son menos activos, en parte por ausencia de tributarios importantes, como por la resistencia estructural y el definido control geológico que ejercen las rocas cristalinas sobre el alineamiento del canal (Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V, 1999).

3.2.2 Clasificación de las islas fluviales

3.2.2.1 Islas centrales

Son aquellas que se localizan en la zona central del canal el cual se subdivide en dos ramales o brazos, uno principal y el otro lateral o secundario. Este tipo de islas pueden estar asociadas a la existencia de afloramientos rocosos ubicados en el centro del canal, el cual hace las veces de un obstáculo que frena la partículas (García, M y Maza J., 1998).

3.2.2.2 Islas en convexidades

Son aquellas que se desarrollan en las zonas convexas en los tramos del río y que se ubican adyacentes al canal principal. En su origen, en adición al transporte de sedimentos del río, pueden estar asociados a la presencia de tributarios (García, M y Maza J., 1998).

3.2.2.3 Islas en concavidades

Son aquellas que se desarrollan en las zonas cóncavas de los tramos del río y que se ubican adyacentes al canal principal. En las mismas formas que las anteriores, su origen puede estar asociado a la confluencia de uno o varios tributarios. Ejemplos

de este tipo son Lindabaro, La Ceiba, Parmaria, Cuchillo, La Gaviota, Orocopiche, Botalón, Bucare y Mamo (García, M y Maza J., 1998).

3.2.2.4 Islas múltiples en expansiones

Son las que ocurren en un número mayor de dos áreas de expansión del cauce. Están asociadas con tramos trenzados del río en donde la dinámica sedimentaria es muy activa y compleja, pudiendo estar controlada por las estructuras geológicas o la litología (García, M y Maza J., 1998).

Ejemplo de este tipo de Islas es: La Urbana, El Infierno, isla Fajardo y La Ceiba - Ceibita - Isabela.

3.2.2.5 Islas asociadas o barras alternadas

Son aquellas que se presentan asociadas con barras alternadas al canal principal o en el canal lateral.

Un ejemplo de este tipo se encuentra en La Isla Matajey. En vista de la diversidad de formas de Islas encontradas a lo largo del canal del río Orinoco consideramos de interés realizar una clasificación de las islas fluviales atendiendo a la posición de la isla con respecto al canal principal y a la configuración morfológica que estas presentan en el sector de concurrencia de los tributarios (Miall, A., 1981) (Figura 3.1).

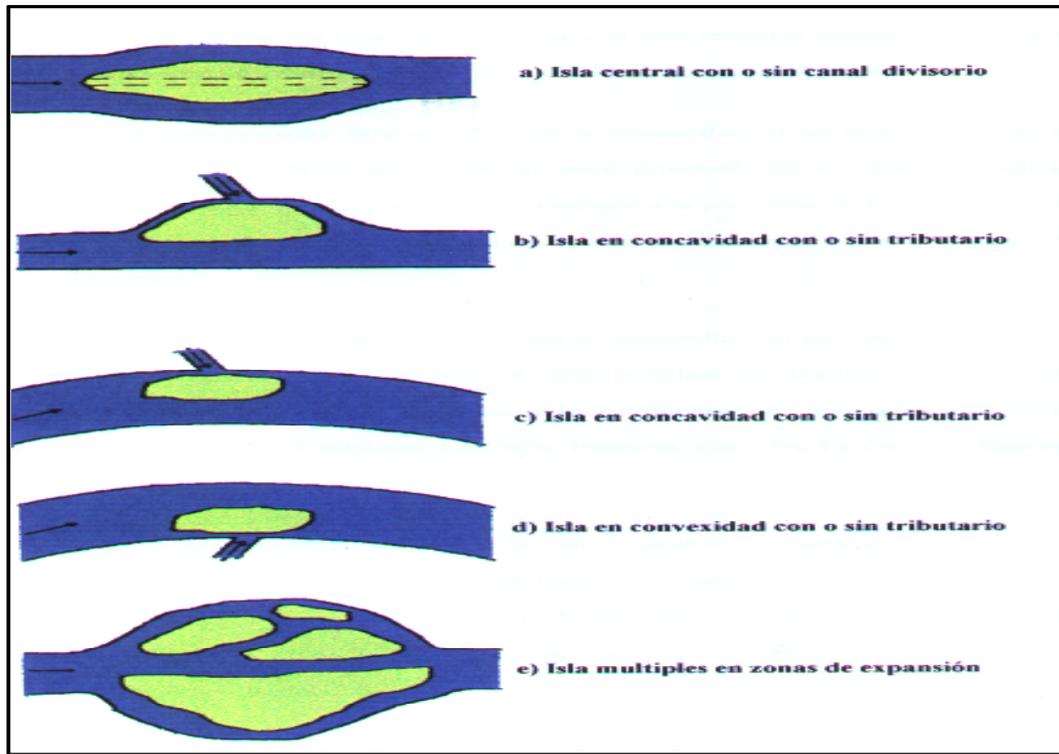


Figura 3.1 Clasificación de las islas según la posición en el canal fluvial (Miall, A., 1981).

3.2.3 Sedimento

Se entiende por sedimentos a todas las partículas de suelo y roca de una cuenca que son arrastradas y transportadas por una corriente de agua.

Los sedimentos después de cierto acarreo, finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces, en lagos o lagunas y en las partes bajas de la cuenca, principalmente en la planicie, lo que da origen a la formación de ésta y a su levantamiento.

El sedimento que se deposita en un gran cuerpo de agua recibe de ésta su estructura y carácter finales (García, M y Maza J., 1998).

3.2.4 Fuente de los sedimentos

No es posible indicar con precisión todas las fuentes que producen los sedimentos que llegan a un río y que son acarreados por su corriente. Sin embargo, la fuente principal la constituyen los suelos y rocas que se encuentran en su cuenca y el agua y el viento son, en nuestro medio, los principales agentes de erosión y de transporte, también su aparición se puede atribuir a los deslizamientos de grandes masas de material sólido que se han concentrado en sitios inestables y que por la acción de las aguas de escorrentía los sedimentos llegan a los ríos. Por otro lado, dada la actividad del hombre en el medio que lo rodea, las fuentes de sedimentos pueden clasificarse en naturales y artificiales (García, M y Maza J., 1998).

3.2.4.1 Fuentes naturales

El suelo, capa delgada y frágil, experimenta la acción del viento y la lluvia. El viento arrastra y levanta partículas (transporte eólico) que llegan a depositarse en las llanuras, o caen directamente en las corrientes. Las gotas de lluvia, al impactarse contra el terreno, mueven o arrancan partículas de suelo y rocas. Una buena parte de la lluvia riega los vegetales o se infiltra en el terreno. Una vez que la intensidad de lluvia agota la capacidad de infiltración de suelo de la cuenca, se inicia el llamado flujo de agua por tierra. Este escurrimiento superficial desprende y acarrea también partículas de las capas superficiales del terreno. La cantidad de material acarreado es tanto mayor cuanto más frecuentes y violentas son las lluvias o los vientos, y menos densa es la cobertura vegetal del suelo (García, M y Maza J., 1998).

Los ríos tienen cambios graduales en su perfil longitudinal, en su corte transversal y en su trazado o curso, pues el río profundiza, ensancha y alarga su cauce por la erosión continua de los materiales que constituyen su lecho y riberas. De esta manera, el río acarrea materiales de diversos tamaños, depositándolos, en forma

graduada, a lo largo de su perfil longitudinal, según varía la velocidad de la corriente; al disminuir la velocidad del flujo de agua; la capacidad de acarreo del río también disminuye, por lo que primero se depositan los materiales más gruesos, mientras que en la zona de planicie, donde las velocidades son relativamente bajas, se deposita parte de material fino y el resto continúa su recorrido hacia los cuerpos de agua (García, M y Maza J., 1998).

3.2.4.2 Transporte de sedimentos en cauces naturales

El área total que es cubierta por los cauces de las corrientes es sólo una proporción muy pequeña de la superficie total del terreno drenado por tales corrientes (puede ser $< 1\%$), pero sin embargo, los mecanismos de transporte de sedimentos en el cauce son los más destacados. El agua que fluye a lo largo de los cauces de los ríos realiza varios trabajos: a) erosiona el cauce del río, profundizándolo y/o ampliándolo; b) transporta sedimentos, y c) deposita sedimentos. La naturaleza y extensión de estas actividades depende de la energía cinética de la corriente, y ésta, a su vez, depende de la cantidad de agua, de la forma y tipo de cauce y del gradiente de la corriente. Una corriente gasta su energía de varias maneras: la mayor parte se consume en la fricción del agua sobre el cauce y entre partículas del fluido. La energía de la corriente que queda para la erosión y transporte de material es relativamente escasa. La depositación tiene lugar cuando disminuye la energía y la corriente no puede mover por más tiempo el material que ha estado trasladando (García, M y Maza J., 1998).

El material que una corriente levanta directamente de su propio cauce (o que es aportado por la escorrentía de las laderas, por sus tributarios o por los movimientos en masa) se mueve corriente abajo hacia su meta final, el océano (García, M y Maza J., 1998).

Tres (3) clases de materiales se distinguen en un cauce natural considerando únicamente la resistencia que ofrecen a ser transportados por una corriente: materiales no cohesivos o granulares, materiales cohesivos y rocas (García, M y Maza J., 1998).

El material granular está formado por partículas sueltas. La fuerza que un líquido debe hacer para mover las partículas es función del peso de cada partícula y del coeficiente de fricción interna. El material cohesivo está formado de partículas muy pequeñas que ofrecen resistencia al flujo de agua. Se necesitan velocidades de corriente más altas para erosionar partículas más pequeñas del tamaño de arcilla y limo ya que la fuerza de cohesión que impide el transporte de las partículas por una corriente es considerablemente mayor que el peso de la partícula, pero una vez que esta fuerza es vencida, la partícula se puede comportar como si fuera granular y es transportada fácilmente en suspensión debido a su peso y tamaño reducidos. El material rocoso usualmente no es movido o rodado por una corriente de agua durante el tiempo de vida de una estructura. El material rocoso puede comportarse como granular si está fracturado y la energía del flujo es muy alta. (García, M y Maza J., 1998).

3.2.4.3 Degradación del cauce

Los materiales se degradan en diferentes tiempos: suelos granulares sueltos se erosionan rápidamente mientras que los suelos arcillosos son más resistentes a la erosión. Sin embargo, la degradación final de suelos cohesivos o cementados puede ser tan profunda como la de suelos arenosos, variando el tiempo en el cual se produce. Por ejemplo, bajo condiciones de flujo constante, la degradación máxima se alcanza en horas para suelos arenosos, en tanto que puede tardar días en suelos cohesivos, meses en depósitos glaciales, piedras areniscas y pizarras, años en piedra caliza y siglos en rocas tipo granito. Es posible que varias crecientes se requieran para

que se produzcan las máximas pérdidas de material, especialmente en suelos cohesivos(García, M y Maza J., 1998).

La interacción entre el flujo y el material granular aluvial ha sido más ampliamente estudiada debido a que es el caso más frecuente asociado con problemas en la hidráulica de ríos.

Los sedimentos tienen su origen en el lecho, en las laderas del río y en la cuenca hidrográfica.

Una corriente puede transportar material de tres maneras: 1) en solución, 2) en suspensión 3) por carga de fondo y 4) por flotación.

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

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

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

Partículas entre 1 y 10 mm tienden a moverse por rotación sobre los granos más abundantes (arenas) y pueden ser transportadas rápidamente ($1 \text{ mm} < D < 10 \text{ mm}$).

Arenas de tamaño grueso a fino ($0.0625 \text{ mm} < D < 1 \text{ mm}$) se mueven por tracción y suspensión intermitente con depositación temporal en dunas y barras puntuales.

Limos y arcillas ($D < 0.0625 \text{ mm}$) se mueven principalmente en suspensión continua (como carga de lavado) y pueden ser transportados rápidamente hasta la salida de la cuenca o pueden ser rápidamente depositados en las llanuras de inundación.

3.2.5 Clasificación de los sedimentos

3.2.5.1 Sedimento no cohesivo

También denominado material granular, es el formado por granos gruesos o partículas sueltas, como las arenas y gravas. En los granos gruesos de los sedimentos o suelos, la fuerza de gravedad predomina fuertemente sobre cualquier otra fuerza, por ello todas las partículas gruesas tiene un comportamiento similar.

Además, esto significa que el peso de las partículas es la fuerza principal que resiste las fuerzas de arrastre y sustentación, es decir el empuje de la corriente y dado que la fuerza de gravedad siempre está presente, al disminuir o cesar la acción del agua, las partículas se detienen, caen y se depositan.

Por tanto, el empuje que debe ejercer un flujo de agua para mover o transportar tales partículas es función del peso de cada una de ellas y cuando se depositan, lo

hacen apoyándose directamente unas en otras, teniendo cada partícula varios puntos de apoyo y dejando vacíos entre ellos (García, M y Maza J., 1998).

3.2.5.2 Sedimento cohesivo

Es el formado por partículas de grano muy fino, constituidas por minerales de arcilla, que se mantienen unidas entre sí por la fuerza de cohesión, la cual se opone a que las partículas individuales sean separadas o arrancadas del conjunto del que forman parte.

Esa fuerza de unión es considerablemente mayor que el peso de cada grano y es la que resiste a las fuerzas de arrastre y sustentación, causadas por el flujo de agua (García, M. J. A. Maza. (1998).

3.2.6 Carga total de sedimentos

3.2.6.1 Carga de fondo

Está formado por el material del fondo que es transportado por la corriente, dentro de la capa de fondo, cuyo espesor, según Einstein, es igual a dos veces el diámetro de la partícula considerada. La capa del fondo, como su nombre lo indica, se encuentra justo arriba del lecho de un cauce.

La carga de fondo depende de las características hidráulicas de la corriente y de las características físicas del material; por tanto si en dos ríos se tienen tramos semejantes y con idéntico material en el fondo, transportan las mismas cantidades de material del fondo bajo condiciones hidráulicas semejantes (Silva, G., 2003).

3.2.6.2 Carga del fondo en suspensión o saltación

Está formado por el material del fondo del cauce que es transportado por la corriente en suspensión, es decir, dentro del seno del líquido arriba de la carga de fondo.

El flujo debido a su velocidad y turbulencia, levanta las partículas del lecho y las mantiene en suspensión, aunque continuamente se produce un intercambio de partículas entre las que hay en la carga de fondo y las que se transportan en suspensión.

La concentración o número de partículas en suspensión disminuye cuando la turbulencia y velocidad de la corriente decrece. Cuando ocurre lo anterior, una cierta cantidad de partículas retorna al fondo. El material del fondo es granular en la mayoría de los ríos; es decir, está formado por partículas sueltas de arena, grava, etc., (Silva, G., 2003).

3.2.6.3 Carga de lavado o suspensión

La capacidad de un río para transportar sedimentos en suspensión depende de las fuerzas de sustentación que se generan como componentes verticales de la velocidad del flujo.

La magnitud de estas fuerzas de sustentación depende de la magnitud de la velocidad de flujo y, por tanto del caudal. Mientras la componente vertical que sostiene una partícula de sedimento sea mayor que el peso de ésta, la partícula se mantiene en suspensión; de esta forma, el caudal clasifica las partículas que el río puede transportar, tanto en tamaño como en número (Silva, G., 2003).

3.2.7 El transporte y la acumulación de sedimentos

El mecanismo fundamental que rige el transporte de sedimentos es el movimiento de un fluido, el aire o el agua, provocando una puesta en movimiento (erosión), un transporte y finalmente, la sedimentación de partículas. La puesta en movimiento es provocada por la tracción que origina una corriente al actuar sobre una superficie sedimentaria. Cuando esta fuerza es superior a la resistencia de fricción e inercia de las partículas, éstas se pondrán en movimiento. Esta fuerza que actúa sobre el fondo es proporcional a la velocidad de escorrentía del fluido (Hjulstrom, F. 1935).

La velocidad necesaria para erosionar un sedimento es función de la dimensión de los granos y de su cohesión. Para los sedimentos arenosos la cohesión intergranular es relativamente débil, mientras que para los sedimentos limosos y arcillosos la cohesión es más importante. Numerosos estudios han permitido trazar curvas que relacionan la velocidad necesaria para erosionar y la granulometría.

Según Hjulström (1935) presento el análisis de erosión, transporte y sedimentación con base en la velocidad media del flujo. La velocidad en el fondo de un canal, la cual es directamente responsable del movimiento de los sedimentos la cual es difícil de determinar, él asumió que para profundidades mayores que 1.0 m, la velocidad en el fondo es 40% menos que la velocidad media del flujo ($V_b < 0.4 V$). El diagrama indica que los granos más sueltos (arenas) son las más fáciles de erosionar; la gran resistencia a la erosión de las partículas más pequeñas depende de las fuerzas de adhesión y cohesión (Figuras 3.2 y 3.3).

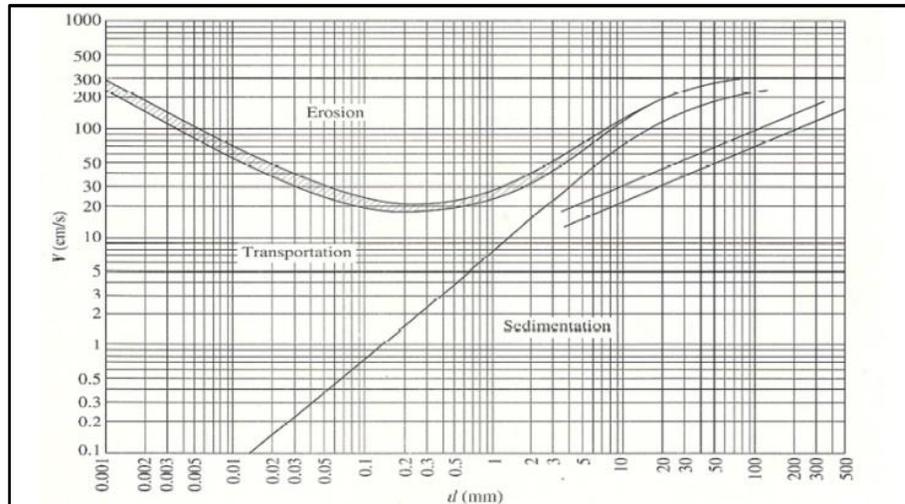


Figura 3.2 Diagrama de Hjulström (1935).

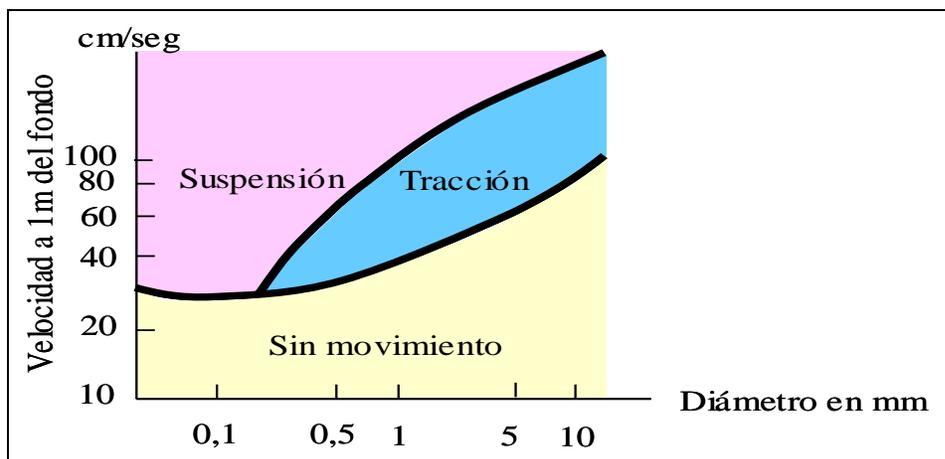


Figura 3.3 Mecanismos de transporte, tipo de transporte en función de la granulometría. Nótese que los sedimentos menores de 0,1 mm no serán transportados más que por suspensión según Miall, A., (1981).

Generalmente en la naturaleza, las velocidades de las corrientes raramente superan los 2-3 metros por segundo, lo que limita la dimensión de las partículas transportadas a algunas decenas de centímetros. Al contrario, cuando una corriente es muy viscosa (turbiditas y colados fangosas), la dimensión de las partículas transportadas puede ser mucho mayor (Miall, A., 1978).

Una vez puesto en movimiento, el sedimento puede ser transportado por dos mecanismos diferentes: sobre el fondo, por tracción ("bed load") o en la misma corriente, en suspensión ("suspended load") (Miall, A., 1981).

Cuando la turbulencia de la corriente es insuficiente para elevar y mantener las partículas a cierta distancia del fondo el sedimento es transportado sobre el fondo por tracción. En esta modalidad de transporte, los granos se mueven entre pocos milímetros y algunos centímetros del fondo y la fuerte densidad de los granos por unidad de volumen provoca numerosos choques entre las partículas, el cual da lugar a la "saltación".

En general, las arenas y gravas son transportadas por, tracción sobre el fondo, mientras que los sedimentos finos son transportados en suspensión. Existen curvas experimentales para prever la modalidad de transporte en función de la granulometría del sedimento y la magnitud de la corriente (Figura 3.4).

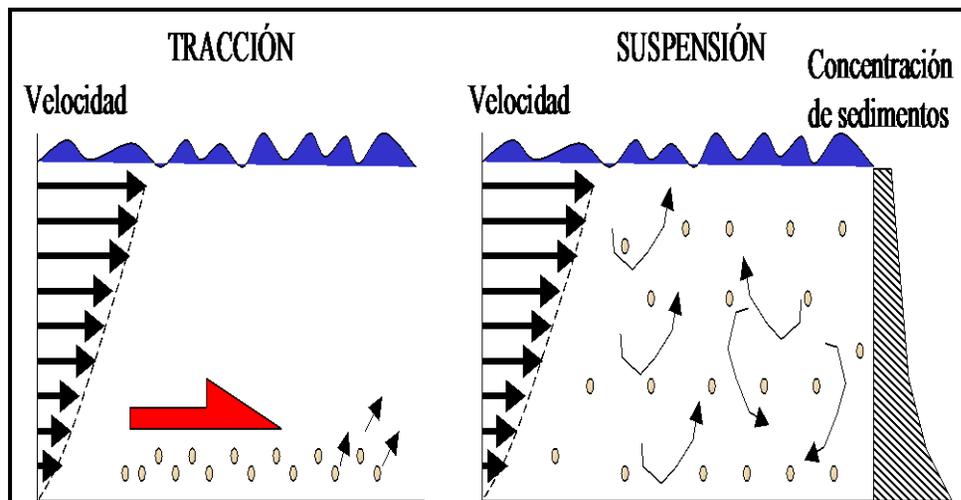


Figura 3.4 Mecanismos de transporte (Miall, A., 1981).

3.2.7.1 Modelo de Van Rijn, (1993)

el movimiento de una partícula ocurre cuando la fuerza del fluido sobre la partícula, esta justamente a lo largo de la fuerza de fricción la cual está relacionada con el peso de la partícula sumergida y el coeficiente de fricción. Las fuerzas cohesivas son importantes cuando el material de lecho está constituido por una cantidad apreciable de partículas de arcillas y limo.

Las formulas a utilizar para usar el modelo de Van Rijn es:

$$D_* = \left[\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{\frac{1}{3}} d_{50} \quad (3.17)$$

Donde:

D_* = parámetro de la partícula

ν = viscosidad cinemática

S = gravedad especifica

Dependiendo del valor de D_* obtenemos el parámetro critico mediante las fórmulas:

$\theta_{cr} = 0.24 D_*^{-1}$	for	$1 < D_* \leq 4$
$\theta_{cr} = 0.14 D_*^{-0.64}$	for	$4 < D_* \leq 10$
$\theta_{cr} = 0.04 D_*^{-0.1}$	for	$10 < D_* \leq 20$
$\theta_{cr} = 0.013 D_*^{0.29}$	for	$20 < D_* \leq 150$
$\theta_{cr} = 0.055$	for	$D_* > 150$

(3.18)

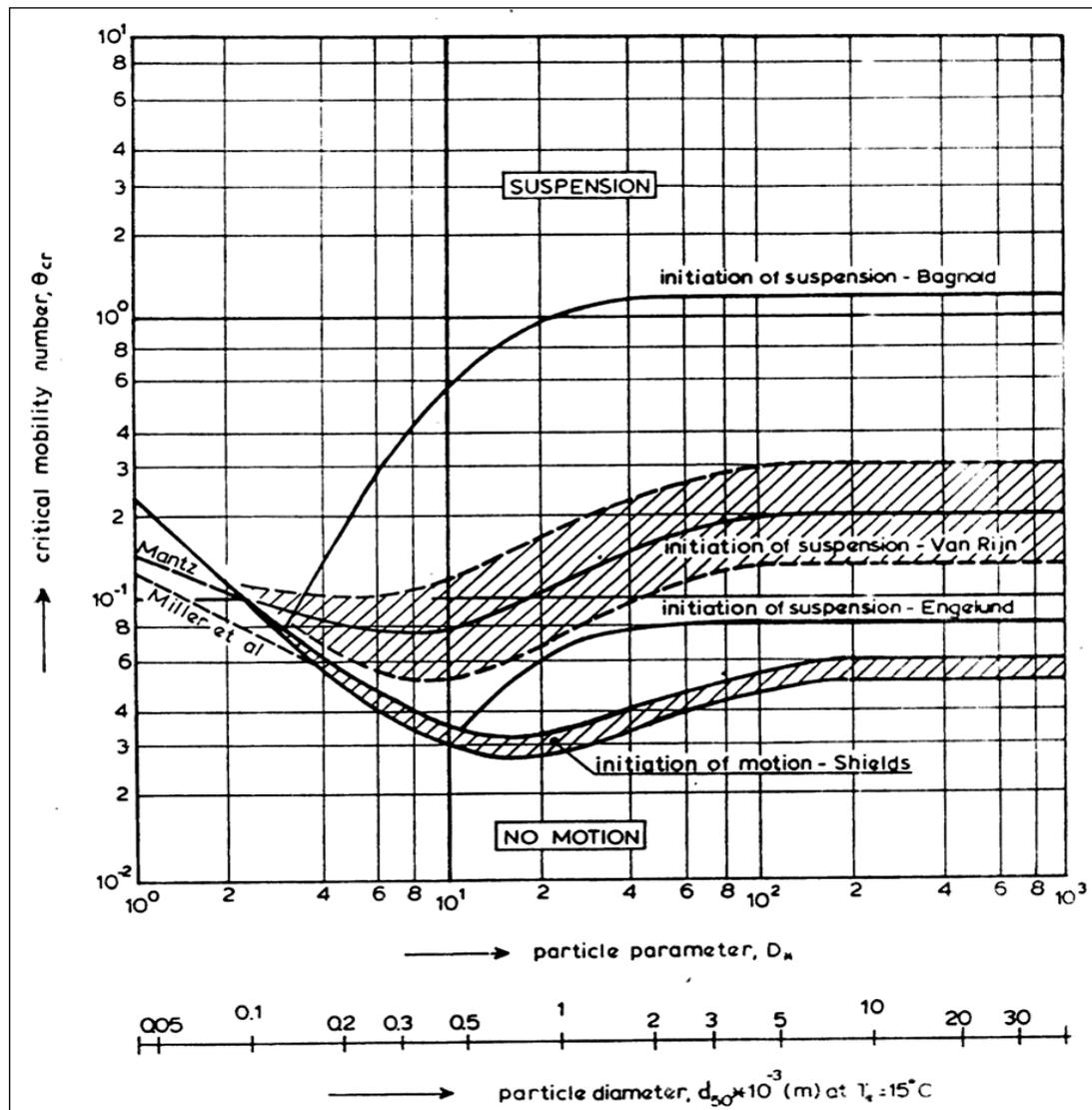


Figura 3.5 Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho (Van Rijn, 1989).

3.2.8 Hidrología fluvial

En los sistemas o medios fluviales existe un conjunto de canales de drenaje organizado de manera coherente y convergente llamados cuencas hidrográficas, las cuales se entrelazan por una red de cauces o canales que convergen con respuesta hidrológica hacia el mar, como punto geográfico del sistema y muchas veces

formando un sistema ramificado dendrítico. Todo el sistema ramificado de drenaje convergerá en un solo canal principal activo, el cual tendrá una respuesta hidrológica al llegar al océano, descargando en la boca de desembocadura, el volumen del agua y la carga de sedimentos no depositados en la cuenca hidrológica, lo cuales han viajado por saltación o suspensión (Miall, A., 1981).

El volumen de material transportado, sometido a cualquiera de los mecanismos de transporte pero siempre en contacto con el fondo del río, es que se llama carga de fondo donde una corriente de agua fluyendo sobre una capa de arena, limo y arcilla puede transportar partículas por dos vías: tal como la carga o peso de sedimentos.

El material es rodado y movido a lo largo de la parte más baja; o la carga suspendida, donde el volumen del material restante, el cual está constituido por las partículas finas que son transportadas sin tener contacto con el fondo del canal (en suspensión) y se le denomina carga en suspensión (Figura 3.6).

Estos dos (2) parámetros son los que definen la configuración geométrica del canal y el tipo de depósito allí presente (Hjulstrom, F., 1935).



Figura 3.6 Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla mostrando su medio de transporte (Modificado de Hjulstrom, F., 1935).

3.2.9 Análisis granulométrico por el método del tamizado

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

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

En el análisis de granulometría consiste en separar y clasificar a través de un juego de tamices, para lograr separar en forma cuantitativa las proporciones en peso de las partículas de diferentes tamaños que existen en cada muestra. La Tabla 3.1 que presenta la clasificación según el tamaño de las partículas de Wentworth, es la más comúnmente usada para el análisis de sedimentos (Pettijohn, 1949).

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

	CLASTO	SEDIMENTO	mm	SEDIMENTITA ó ROCA SEDIMENTARIA		
PSEFITA	Bloque	Aglomerado		Aglomerado (Conglomerado de bloques)		
	Guijón	Grava	256	Conglomerado o brecha		
	Guijarro		128			
	Guija		64			
			32		Grueso	
			16	Mediano		
			8	Fino		
			4			
			2			
PSAMITA	Grano	Arena	1	Arenisca	Muy gruesa	
			0,5		Gruesa	
			0,25		Mediana	
			0,125		Fina	
			0,062		Muy fina	
PELITA	Partícula	Limo	0,031	Limolita	Grueso	
			0,016		Mediano	
			0,008		Fino	
			0,004		Muy fino	
			0,002		Gruesa	
		Arcilla		0,001	Arciilita	Mediana
				0,0006		Fina
						Muy fina

3.2.10 Forma, redondez y esfericidad

3.2.10.1 Forma

Se define de acuerdo a las características geométricas o la relación entre los ejes de un clasto.

Se realiza definiendo tres ejes en un clasto. El diámetro mayor (a), el diámetro intermedio (b) y el menor (c) que puedan ser perpendiculares entre si y que pueden o no cortarse en un punto. (a = longitud, b = anchura y c = espesor) (Figura 3.7)

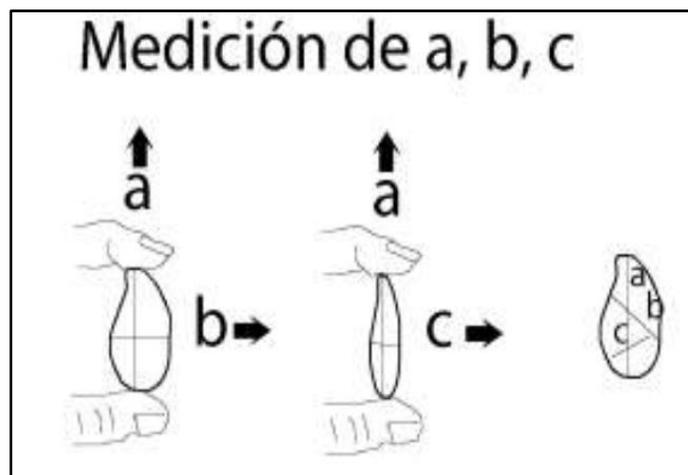


Figura 3.7 Medición de rodados y la posición de los ejes mayor (a), intermedio (b) y menor (c) (Krumbein, 1941 en Pettijhon, 1957, 1970).

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

1. Forma de la partícula en la roca al ser liberada por los procesos de meteorización.

2. Composición y estructura química de las partículas, estas le van a conferir mayor o menor resistencia a los agentes de meteorización.

3. Dureza, fractura y clivaje de las partículas sedimentaria.

4. Tamaños de las partículas.

3.2.10.2 Redondez

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

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

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

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

4. Redondeados (0,40 - 0,60. mm): caras originales completamente destruidas, pero todavía pueden presentar alguna superficie plana. Puede haber ángulos cóncavos

entre caras remanentes. Todas las aristas y los vértices originales han sido pulido hasta curvas suaves y amplias.

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

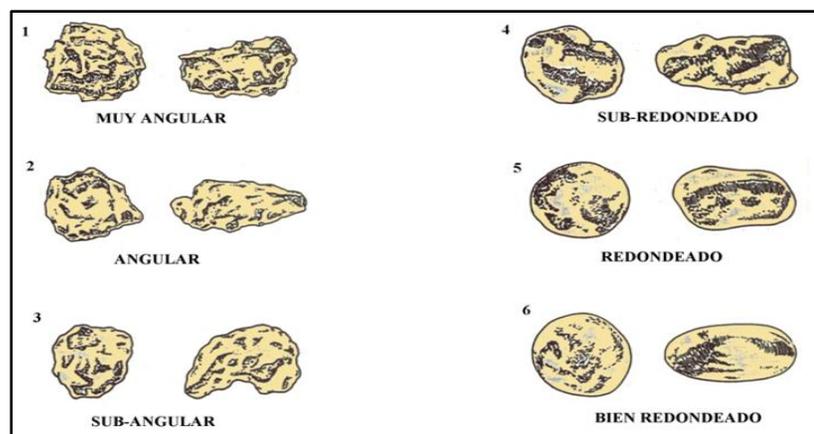


Figura 3.8 Forma y redondez de los granos (Modificado Redrawn, 1953).

3.2.10.3 Esfericidad

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

3.2.11 Método de Visher

En la curva granulométrica de la distribución acumulada se vinculan las subpoblaciones con los mecanismos de transporte así los sedimentos más gruesos se

asignan a la tracción, los intermedios a la saltación y los finos a la suspensión, esto se realiza trazando rectas tangentes a la curva (Figura 3.9 y 3.10).

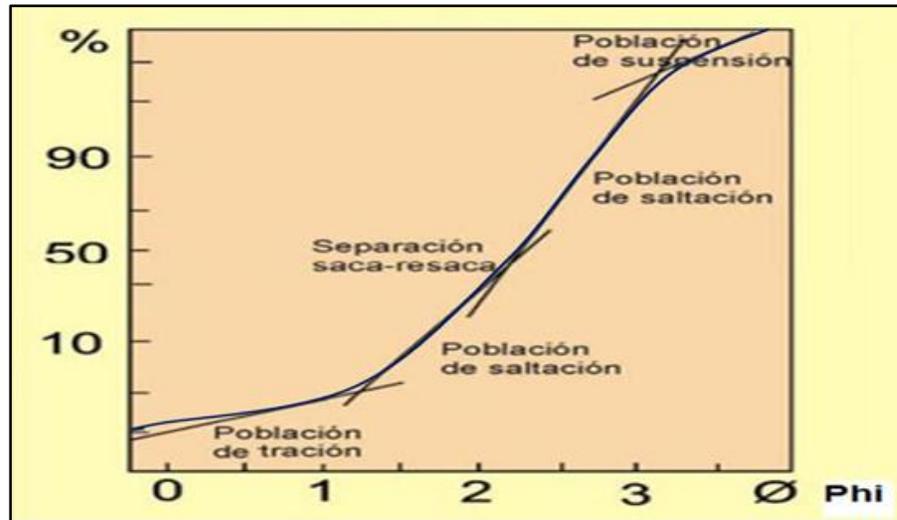


Figura 3.9 Curva de frecuencia acumulada con las poblaciones asociadas al mecanismo de transporte (modificado de Spalleti, 2007).

Analizó las distribuciones clastométricas de tamaños menores de 1 mm con escalas probabilísticas (rectas) en varios ambientes. Llegó a la conclusión de que las poblaciones de clastos se dividen en tres sub-poblaciones:

- a. Población con una distribución mal seleccionada.
- b. Población bien seleccionada.
- c. Población con clastos pequeños, mal seleccionada.

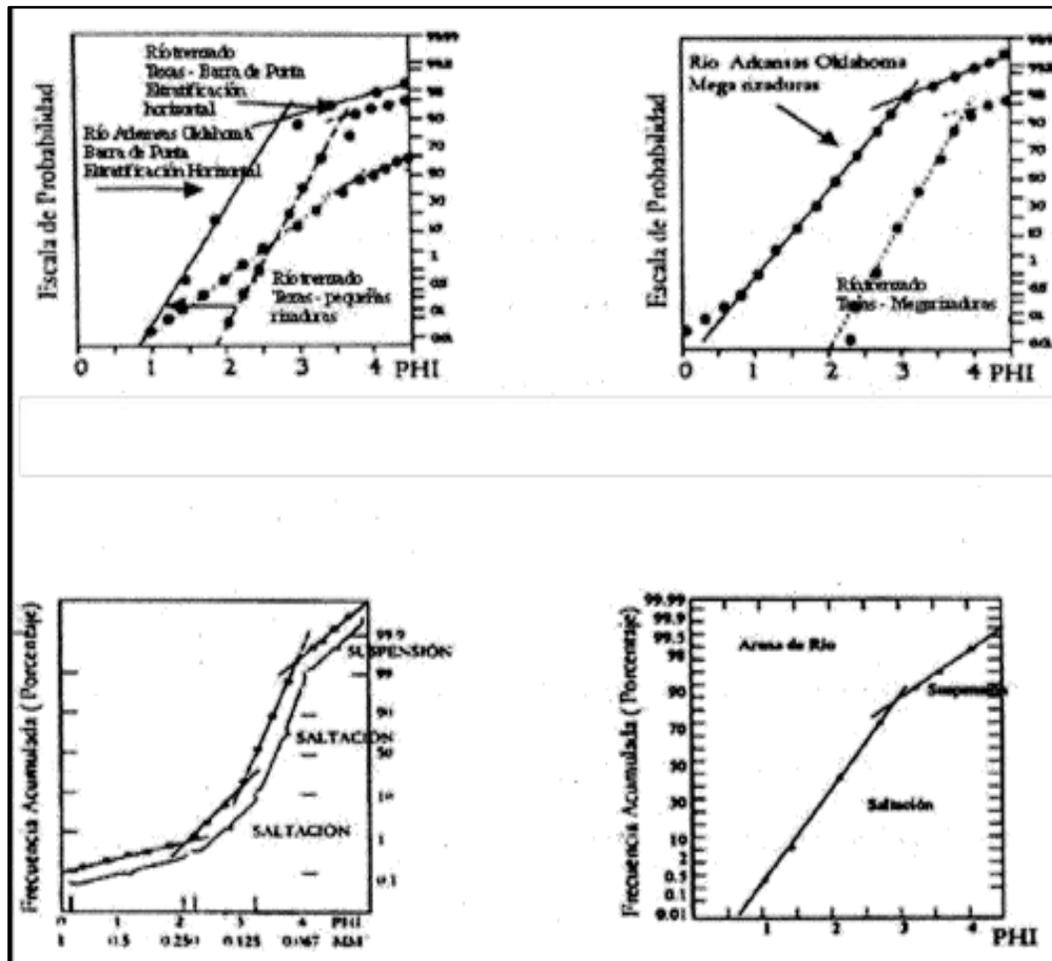


Figura 3.10 Curvas de frecuencia acumulada de arenas de playa (Modificado de Visher, 1969).

3.3 Bases legales

3.3.1 Ley de aguas

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

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

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

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

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

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

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

La clasificación de los cuerpos de agua y la aprobación de los programas maestros de control y manejo de los mismos, las cuales se podrán realizar conjunta o separadamente con los planes de gestión integral de las aguas en el ámbito de las cuencas hidrográficas.

3.4 Definición de términos básicos

3.4.1 Afluentes

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

3.4.2 Área de inundación

Superficie de terreno adyacente a la ribera del río la cual puede ser estacionalmente inundada durante las crecientes del río (CIGB, 2015).

3.4.3 Avenida

Subida temporal de las aguas de un río o de un cauce como consecuencia de lluvias importantes en la cuenca vertiente. Conlleva la inundación de zonas habitualmente secas (CIGB, 2015).

3.4.4 Caudal

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

3.4.5 Corte

Vista de una presa como sección del interior en sentido perpendicular al eje (CIGB, 2015).

3.4.6 Cuenca hidrográfica

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

3.4.7 Derivar

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

3.4.8 Erosión

Deterioro progresivo de una superficie, sea un río, el lecho de un curso de agua, una riera o cualquier otra superficie provocado por el flujo del agua, las olas de los embalses, el viento o cualquier otro proceso natural (CIGB, 2015).

3.4.9 Espesor de tongada del hormigón

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

3.4.10 Estabilidad

Condición de una estructura que es capaz de soportar fuerzas y presiones instantáneas o de larga duración sin sufrir deformaciones significativas (CIGB, 2015).

3.4. 11 Evaporación

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

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

1.1 Tipo de investigación

El autor Arias, (2012) define la investigación descriptiva como la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.

Se dice que la presenta investigación es de tipo descriptiva, ya que a través de ella, se realizará la caracterización de las márgenes y del cauce del río Orinoco en el área de estudio. Así mismo se efectuará la descripción textural de los sedimentos presentes en dicho cauce y la descripción de la corriente del río con base a las características de los niveles del agua y a las magnitudes de la velocidad de la corriente y el caudal en el área de estudio.

1.2 Diseño de investigación

De acuerdo con la manera de enfocar el problema y las estrategias o métodos aplicados en el mismo para lograr los objetivos, se puede afirmar que el diseño de la investigación será: documental y de campo.

Según el autor Arias, (2012), define: la investigación documental como un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas, como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

Esta investigación se dice que es documental ya que utilizará y analizará el contenido de documentos cartográficos, hidrométricos y climáticos de la zona de estudio. Asimismo, se requiere del análisis de la información de carácter geológico registrada en el Léxico Estratigráfico de Venezuela

Parella y Martins, (2012), definen que la investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta.

Claro está, en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. No obstante, son los datos primarios obtenidos a través del diseño de campo, los esenciales para el logro de los objetivos planteados.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

Se presentan a continuación los criterios y opiniones de experimentados autores sobre metodología de la investigación; en ese sentido:

El autor Arias, (2012) explica que “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”.

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. Balestrini, (2002), expresa que: “una población o universo puede estar referido a cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación”.

En el presente caso se considerará como población de la investigación todas las formas y materiales del lecho del cauce y riberas en el área de estudio del río Orinoco, así como también las características del flujo presentes, en vista de ello se considera a la población de carácter infinito.

4.3.2 Muestra de la investigación

Sabino (1992) afirma que: “una muestra, en un sentido amplio, no es más que eso, una parte del todo que llamamos universo y que sirve para representarlo. Una muestra es un conjunto de unidades, una porción del total, que representa la conducta del universo en su conjunto.

Por otra parte, Balestrini, (2002), expresa que la muestra puede definirse como “un conjunto de unidades, una porción del total, que representa la conducta del universo en su conjunto.”

Debido al carácter infinito de la población, se ha considerado en la presente investigación que una muestra de tamaño estadísticamente representativo (probabilística) será físicamente inviable en este caso; en vista de ello, se optará por un tamaño de muestra no probabilística, es decir, opinática o a criterio del investigador. En consecuencia, dado los costos del proceso de muestreo, traslado y del posterior análisis de los especímenes tomados, la muestra de la investigación

estará constituida por cinco (5) muestras de sedimentos tomadas espaciadas en forma similar en el cauce adyacente a la margen izquierda descendente.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Técnicas de recolección de información

Sabino, (1992) afirma que: “Un instrumento de recolección de datos, en un principio es cualquier recurso del que se vale un investigador para acercarse a fenómenos y extraer de ellos información”. En tal sentido, y en relación a los objetivos definidos en el presente estudio ubicado en un contexto de investigación descriptiva, se utilizarán las siguientes técnicas de recolección de datos para cumplir con las metas propuestas:

4.4.1.1 Observación directa.

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

Mediante la observación directa, se hará un reconocimiento visual del área de estudio a fin de verificar las condiciones en las que se encuentra en cuanto a la topografía, vegetación, condiciones de las riberas, islas 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 expresa Tamayo y Tamayo, (2004): “la revisión

Literaria es el fundamento de la parte teórica de la investigación y permite conocer a nivel documental las investigaciones relacionadas con el problema planteado”.

En el presente caso, la revisión documental abarcará la revisión de trabajos de grado, y demás investigaciones desarrolladas en ese entorno. Asimismo, será consultada la base de datos de mediciones hidrométricas y batimétricas de la CVG Gerencia del Canal de Navegación de Orinoco (CVG GCNO).

4.4.1.3 Entrevistas no estructuradas

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

Tal como lo expresa Sabino, (1992): “de un modo general una entrevista no estructurada, es aquella en la que no existe una estandarización formal, habiendo por lo tanto un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas”.

En el caso de la presente investigación estas entrevistas serán realizadas a los moradores de las riberas del río Orinoco 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 para la recolección de datos

Entre los instrumentos necesarios para el desarrollo de la investigación se pueden citar los siguientes:

- a) Computador y periféricos
- b) Equipo de topografía (GPS, clinómetro, jalón, brújula
- c) Equipos de comunicaciones
- d) Programas de ofimática, de modelamiento hidráulico y de diseño asistido

CAD

- e) Cámara fotográfica
- f) Libreta, papelería y lápices

4.5. Flujograma de la investigación

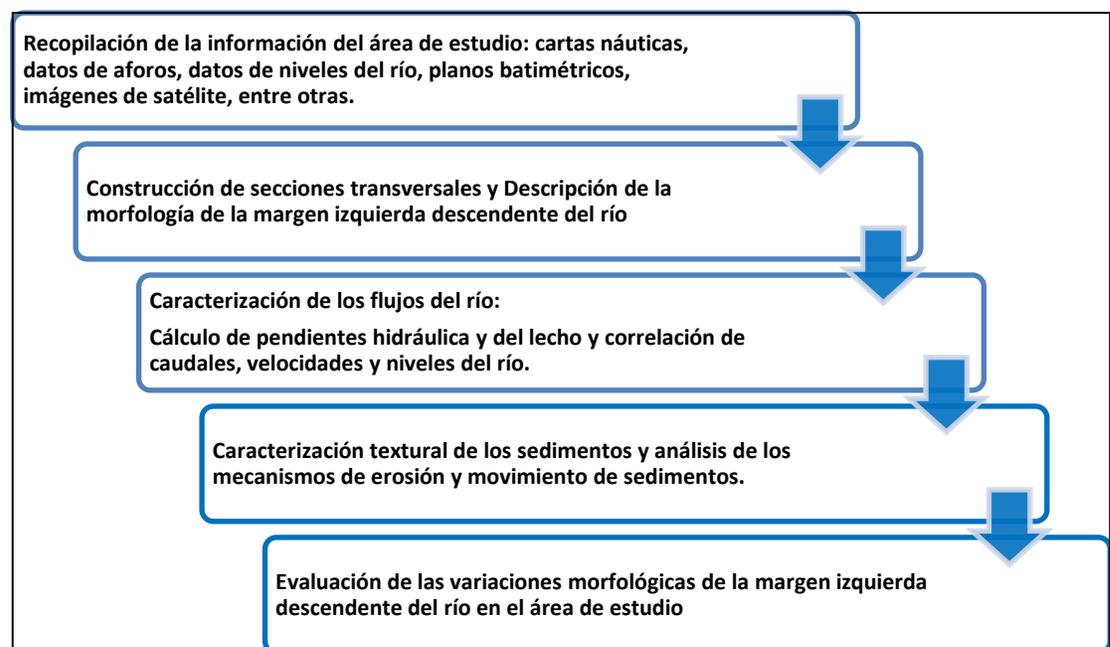


Figura 4.1 Flujograma de la investigación.

4.6 .Procedimiento para el logro de los objetivos

Para el desarrollo de esta investigación referente al área de estudio deben ser tomados los siguientes aspectos:

Recopilación bibliográfica: está comprendida por la búsqueda y selección de todo material que proporciona información sobre el tema estudiado referente a la morfología de ríos, propiedades físicas, erosión fluvial, utilizando varias fuentes bibliográficas, como libros, tesis y toda la información que puede ser obtenida a través de internet.

4.6.1 Recopilación de datos

Se realizó la búsqueda y obtención de datos del área en estudio para su posterior revisión, tales como: documentos cartográficos, aforos, mediciones de niveles, planos batimétricos, etc. Que se consultarán en las oficinas y Biblioteca de la CVG-GCNO, acerca del área de estudio los cuales fueron necesarios para el desarrollo de esta investigación.

4.6.2 Descripción de la morfología del área de estudio

Para la descripción morfológica local se debe analizar las dimensiones, longitud, pendiente y forma de la ribera del río Orinoco y su relación con la geología local y regional.

La descripción de la morfología local del área de estudio ameritará describir las variaciones temporales y/o estacionales que han sufrido las márgenes y el lecho del río en el sector, siguiendo el siguiente procedimiento:

Con el fin de visualizar la morfología del área de estudio se digitalizan los planos batimétricos costa a costa del sector por medio del programa AUTOCAD CIVIL 3D.

Se construyen secciones transversales seleccionadas cada 500 m, utilizando levantamientos batimétricos costa – costa del área de estudio donde las ordenadas son las profundidades totales y las abscisas la distancia acumulada.

4.6.3 Describir los parámetros hidráulicos principales del área de estudio

En el primer lugar, se construyen los hidrogramas de niveles máximos y mínimos del río correspondientes a un período entre 10 y 20 años. Para ello se requerirá los niveles del río Orinoco en la estación limnimétrica de Caicara y/o los niveles de las estaciones limnigráfica ubicadas inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del tramo de estudio.

Se efectúa la correlación gráfica de los niveles del río, velocidades de la corriente y caudales medidos en la sección de aforo más cercana a la zona de estudio.

4.6.4 Caracterización textural de los materiales de la margen norte del río

De acuerdo a las características morfológicas del sector se define que por tratarse de una población de tamaño infinito, el muestreo será a criterio del investigador, es decir, la muestra de la investigación será no probabilística. Es necesario acotar que existe la imposibilidad física para el transporte y análisis de una cantidad de muestras que permitan calificarla como probabilístico (superior a 384 muestras).

Efectuar o recopilar los datos sobre el análisis granulométrico (bajo la norma ASTM D421 y D422 y análisis de forma de los granos. Cabe destacar que estos datos geotécnicos serán utilizados para los diferentes modelos de movimiento de sedimento.

/ 4.6.5 Evaluación multitemporal de la variación de la morfología de la margen

Mediante la revisión comparativa de la línea de costa de la margen izquierda descendente o margen norte del área de estudio utilizando para ello las cartas de navegación, los planos costa a costa, las imágenes de satélite Landsat, entre otras.

+

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Características texturales de los sedimentos del lecho en el área de estudio

Con la finalidad de efectuar la caracterización textural de los sedimentos de la zona norte de la ribera del río Orinoco en el tramo del área de estudio se realizó un muestreo de carácter opinático o no probabilístico debido a las características infinitas de la población.

En la figura 5.1 y en la tabla 5.1 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo.

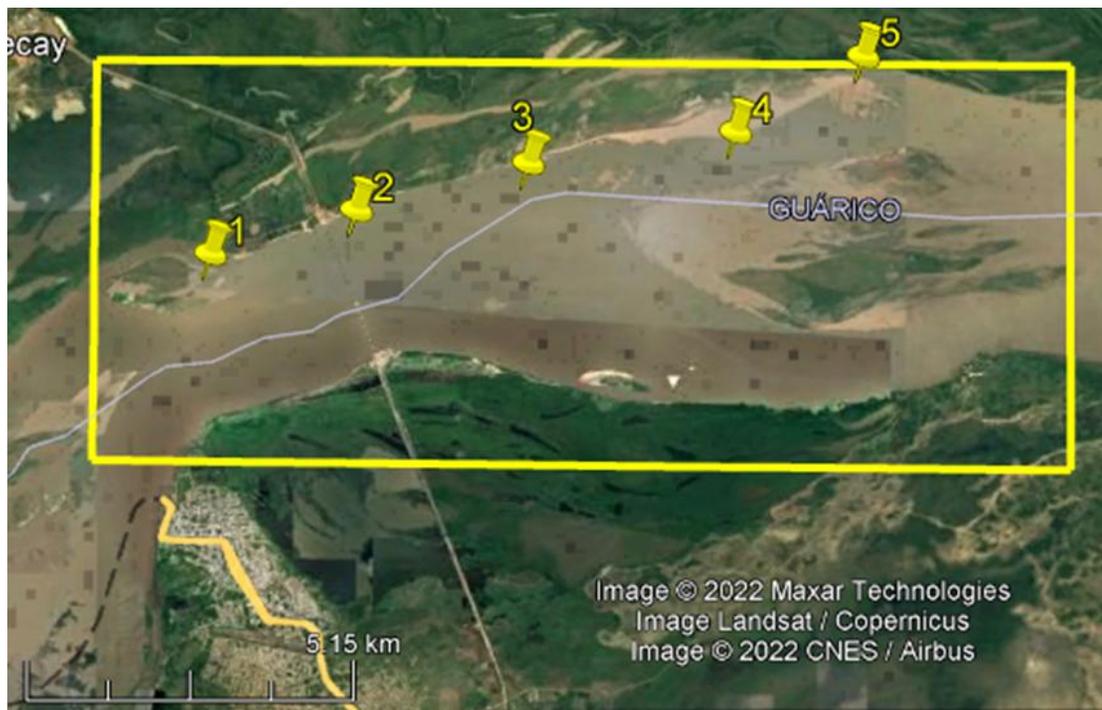


Figura 5.1 Ubicación de los puntos de muestreo de suelos.(Imagen de satélite Landsat de Google Earth del 02/09/2015)

Tabla 5.1 Coordenadas UTM de los puntos de muestreo
(elipsoide WGS-84, huso 19)

Muestra	ESTE	NORTE	Origen de la muestra
1	811719	849679	Calicata en isla al noroeste
2	814028	850341	Lecho del río
3	816694	851173	Lecho del río
4	819933	851596	Lecho del río
5	821916	852815	Calicata isla al noreste

En ese sentido, a las muestras tomadas se les practicó ensayos para la determinación de la distribución granulométrica de acuerdo a la norma ASTM D 421; ensayos para estimación de los límites de consistencia y finalmente, también se les practicó los respectivos análisis morfoscópicos para determinar la esfericidad de las partículas que integran cada muestra. Cabe destacar que las muestras fueron ensayadas en las instalaciones y con los equipos de la empresa Geoambiente.

5.1.1 Análisis granulométrico de las muestras

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla siguiente se establece que las muestras son arenas pobremente gradadas y según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos corresponden a un suelo tipo “SP”. En el Apéndice A se muestran las tablas de datos y las respectivas curvas semi-logarítmicas correspondientes a los análisis de distribución granulométrica.

Tabla 5.2 Resultados de los análisis granulométricos de las muestras de suelo tomadas.

Muestra	% Grava	% Arenas			% Finos	Total
		Gruesas	Medias	Finas		
1	0.08	0.24	4.21	91.86	3.61	100
2	0.24	0.40	0.36	98.48	0.52	100
3	0	0.08	6.71	92.71	0.50	100
4	0.28	0.85	1.38	97.00	0.49	100
5	0.06	1.66	8.67	81.69	7.92	100



Figura 5.2 Colocación de suelo seco para tamizado.

5.1.2 Análisis morfosκόpico de las partículas

Para tal fin se selecciona la fracción retenida en el tamiz N° 40, el cual representa el porcentaje de arena de grano medio alrededor de un diámetro de 0,423 mm, luego se sometió al lavado para extraerle todos los sedimentos limosos y arcillosos que puedan quedar adheridos a los granos, posteriormente se procede a secar la muestra en un horno capaz de mantener la temperatura ($110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$) hasta obtener su peso constante, luego se observa cada una de las muestras a través de una lupa binocular, seleccionando 200 g representativos, que fueron clasificados en angulosos, sub-angulosos, sub-redondeados y redondeados según la adaptación de la clasificación de Pettijohn (1980).

Las formas consideradas representadas en los histogramas permiten inferir la madures de cada sedimento en función de la distancia de arrastre de la partícula desde la fuente y la energía de arrastre.

Para la elaboración de histogramas de frecuencia que muestran las cuatro (4) formas geométricas establecidas (según la clasificación de Pettijohn, 1980) se requiere a la selección de las partículas con referencia a los criterios de angulosidad, ya definido en el marco teórico de esta investigación.

Los resultados de la tabla 5.3 demuestran que la forma predominante en la muestras analizadas son sub-redondeadas seguidas de las sub-angulosas. Basados en estos resultados podríamos señalar que los sedientos provienen de una fuente medianamente cercana, lo que es indicativo que han sufrido un transporte relativamente moderado.

En el Apéndice B se ilustran los histogramas que muestran las variaciones de las formas de cada muestra analizada.



Figura 5.3 conteo de partículas de análisis morfosκόpico.

Tabla 5.3 Resultados del análisis morfosκόpico de las partículas.

Muestra	ANGULOSO %	SUB- ANGULOSO %	SUB- REDONDEADO %	REDONDEADO %	Total %
1	8.35	50.00	36.65	5.00	100
2	9.35	46.00	3.65	12.00	100
3	7.00	32.30	49.35	11.35	100
4	7.35	36.65	46.00	10.00	100
5	6.65	40.35	41.65	11.35	100

5.1.3 Estimación de los Límites de Atterberg

La determinación de los límites de Consistencia o de Atterberg (límite líquido y límite plástico) ameritó seguir el procedimiento establecido por las Normas ASTM D423 (límite líquido) y ASTM D424 (límite plástico) para lo cual se consideró en cada muestra la fracción pasante por el tamiz N° 40. Por otra parte, sólo se les realizó este ensayo a dos (2) de las muestras (la 1 y la 5) las cuales poseían un porcentaje de material fino (limo-arcilloso) pasante por el tamiz 200 superior al 5%. Finalmente, es importante acotar que los resultados de estos últimos ensayos fueron determinantes para la clasificación de las muestras en cuestión según las normas AASHTO-T-92 y la ASTM-D-427 (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos -SUCS).

Los resultados de la estimación de los límites de consistencia se presentan en las figuras correspondientes al Apéndice C.

5.2 Condiciones de las corrientes del río en el área de estudio

Utilizando los registros de aforos del río Orinoco en la estación Caicara (tabla 5.4) realizados por el Instituto Nacional de Canalizaciones y suministrados para su consulta por la CVG Gerencia Canal de Navegación del Orinoco, se realizó una correlación entre caudales y los niveles del río referidos al Nivel de aguas bajas

(NAB) (figura 5.4) y otra correlación entre las velocidades de la corriente y los niveles del río (figura 5.5).

Cabe destacar que estos gráficos permitirán realizar aproximaciones para la determinación del caudal y velocidad de la corriente conociendo los niveles del agua del río.

Tabla 5.4 Registros de aforos en la estación Caicara.
Período 1992 – 2000.

FECHA	CAUDAL	NIVEL	VELOCIDAD
	(m³/s)	(m ref NAB)	(m/s)
23/11/1992	10,64	23,81	0,58
07/04/1993	4,40	24,00	0,81
30/06/1993	24,67	27,32	0,90
19/09/1993	4,78	22,52	0,36
26/04/1994	3,15	22,52	0,65
06/08/1994	29,28	29,64	0,99
12/04/1995	38,21	33,21	0,99
06/09/1995	25,77	33,19	0,86
31/03/1996	16,90	26,75	0,72
30/08/1996	8,17	21,54	0,60
25/03/1998	2,67	21,55	0,62
06/12/1999	24,05	28,31	0,86
20/03/2000	19,43	32,05	0,66
11/06/2000	16,50	26,92	0,65
12/12/2000	8,39	29,78	0,28

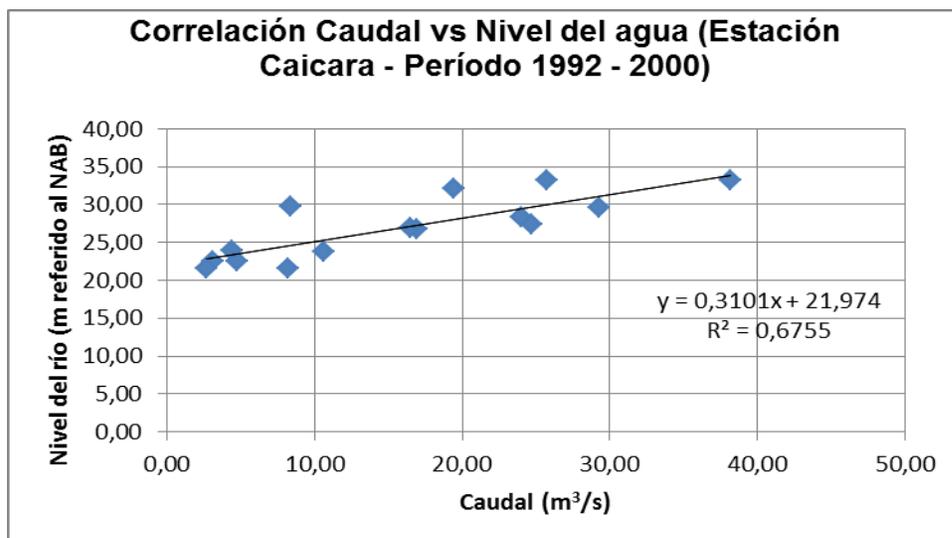


Figura 5.4 Correlación Caudal vs Nivel del río en la estación Caicara para el período 1992 -2000.

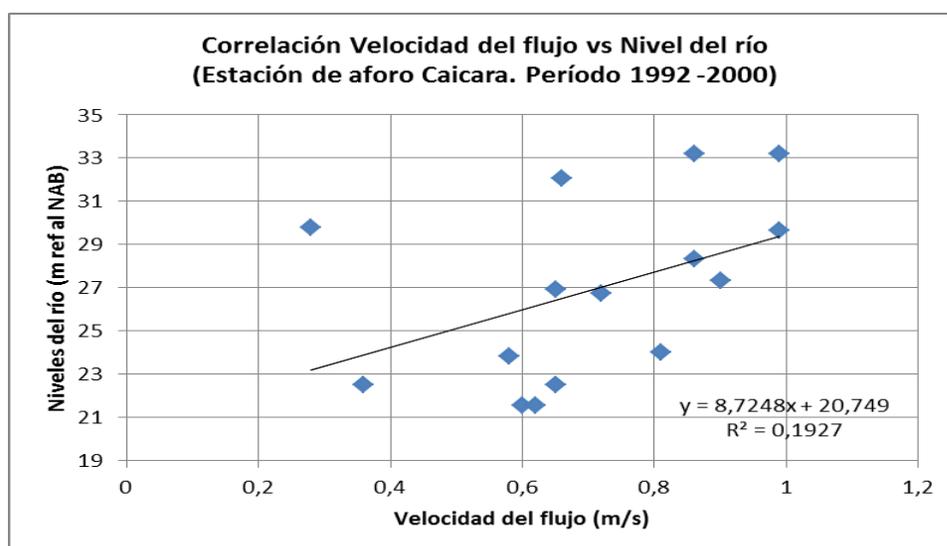


Figura 5.5 Correlación Velocidad de la corriente vs Nivel del río en la estación Caicara para el período 1992 -2000.

Por otra parte, de acuerdo a los registros del INAMEH, el río Orinoco en la zona de estudio ha presentado un historial de niveles del agua medido en la estación hidrométrica de Caicara la cual presenta registros de niveles desde el año 1968. El

nivel máximo registrado en toda su historia fue de 36,45 msnm el 02 al 05 de Agosto de 1981, mientras que el mínimo fue el 20 de Marzo del 2010 con 20,53 msnm

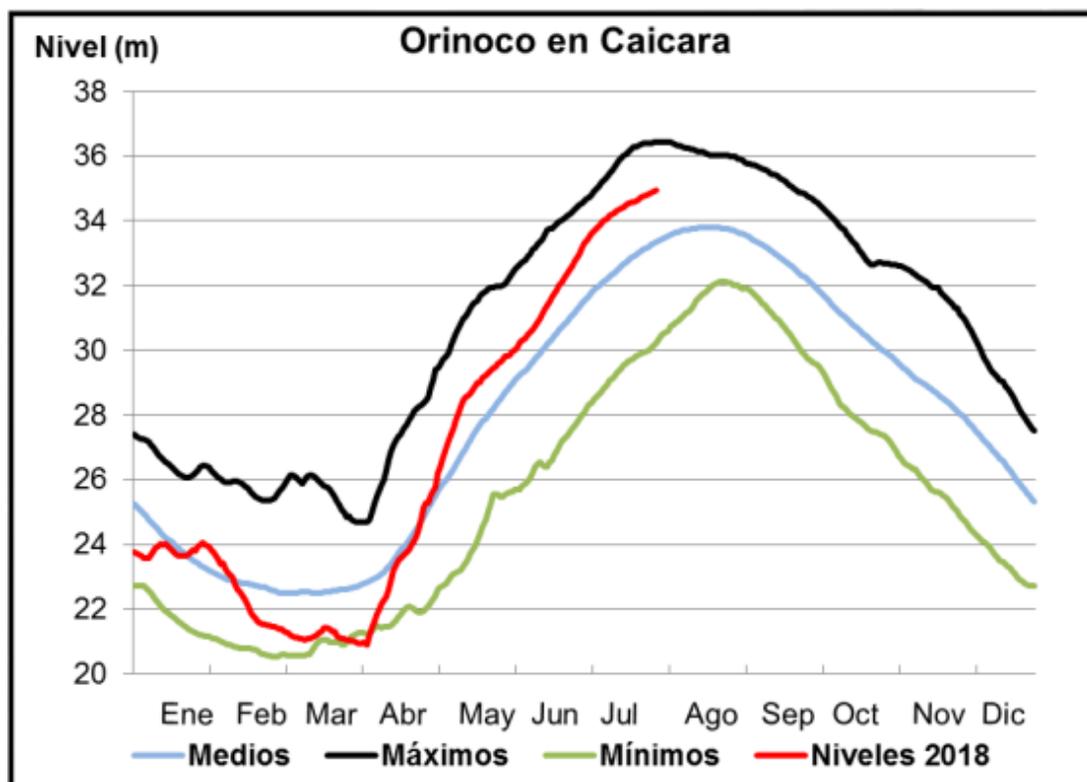


Figura 5.6 Hidrograma del río Orinoco en la estación limnimétrica de Caicara del Orinoco.

5.3 Mecanismos que generan la erosión y transporte de los sedimentos en el área de estudio

Se han desarrollado varios modelos para el análisis del movimiento incipiente de las partículas entre ellos uno de los más populares es el criterio de Hjulström. Mediante este método discriminaremos en que momento este tramo del río Orinoco entrará en etapa de depositación de los sedimentos y en que etapa iniciará procesos de erosión; y aún cuando el método no considera la forma de la partícula para su

desplazamiento el uso extendido del método indica que los resultados que se logran son aceptables.

Por otra parte, los análisis granulométricos previos indican que estos sedimentos que presentan de poca a mediana plasticidad presentarán en consecuencia baja cohesión por lo que los esfuerzos necesarios para extraer las partículas del lecho serán inferiores a los necesarios si estos sedimentos fuesen cohesivos.

En este sentido, consideraremos en primer término el diámetro medio de las partículas (d_{50}) de las muestras captadas en el canal y en las calicatas. Con tales tamaños de partículas, ingresamos al diagrama de Hjulström por el eje de las abscisas e interceptando las dos (2) curvas obtendremos el rango de velocidades de las corrientes que mantendrán a los sedimentos en transporte. Asimismo, por debajo de este rango de velocidades se producirá la depositación de los sedimentos y por encima del rango de velocidades se generará la erosión del lecho del río.

A continuación se muestra en la figura 5.7 el diagrama de Hjulström indicando los distintos límites de velocidades umbrales para que se produzca la depositación o se inicie la erosión de acuerdo a las partículas muestreadas.

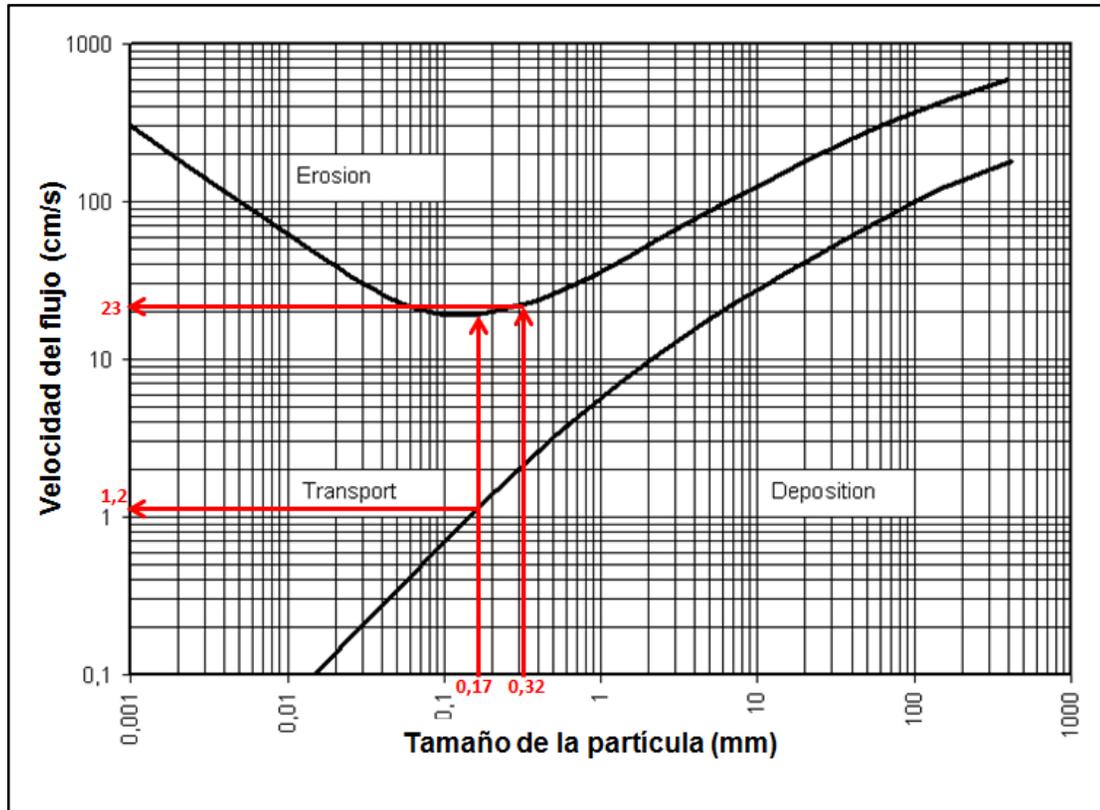


Figura 5.7. Aplicación del diagrama de Hjulström a las muestras tomadas.

Tomando en cuenta el diámetro medio de las partículas (d_{50}), se pudo determinar cuáles son las velocidades críticas donde los sedimentos van a iniciar su depositación, o si se mantendrán en movimiento o si están por encima del umbral para iniciar la erosión de estos materiales.

En la tabla siguiente se muestra los resultados de las muestras analizadas. (Tabla 5.5)

Tabla 5.5. Velocidades críticas de erosión – depositación, de sedimentos no cohesivos.

MUES	Diámetro medio d_{50} (mm)	Velocidad umbral para la depositación V (cm./s)	Rango de Velocidad de transporte V (cm./s)	Velocidad umbral para la erosión V (cm./s)
1	0.19	≤ 1.5	$1.5 \leq x \leq 20$	≥ 20
2	0.19	≤ 1.5	$1.5 \leq x \leq 20$	≥ 20
3	0.32	≤ 2.1	$2.1 \leq x \leq 23$	≥ 23
4	0.26	≤ 1.8	$1.8 \leq x \leq 21$	≥ 21
5	0.17	≤ 1.2	$1.2 \leq x \leq 19$	≥ 19

Cabe destacar que el flujo puede transportar partículas a velocidades menores a la crítica de erosión, es decir, una vez en movimiento no requiere que las partículas tenga una elevada velocidad como se muestra en los valores de la tabla 5.5. Observando el gráfico podemos decir que la velocidad del flujo requerida para que se produzca la erosión es más baja para las partículas de arena, lo cual se explica debido a que la disminución del tamaño de las partículas (hacia los limos y las arcillas) les confiere cohesión al conjunto de partículas y en consecuencia se requerirá un esfuerzo cortante superior (que se logra con mayor velocidad del flujo) para arrancar cada partícula de suelo del lecho.

5.3 Determinación de los Mecanismos de transporte de los sedimentos mediante la aplicación del método de Visher (1969)

A través del análisis de las curvas acumulativas de la distribución del tamaño del grano para las cinco (5) muestras de sedimentos arenosos tomadas en las proximidades de la margen izquierda descendente del río Orinoco en el tramo en estudio mediante la aplicación del método de Visher, permitió encontrar que predominan como mecanismos de transporte la saltación y la tracción y en menor proporción por suspensión (Tabla 5.6).

Tabla 5.6 Rangos y porcentajes de la fracción de suelos que se mueven por suspensión, saltación y tracción.

Muestra	Litologías	Rangos y porcentaje de la fracción de suelos que se mueve por mecanismos de:					
		Suspensión		Saltación		Tracción	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
1	Arena de grano medio a fino	< 0,14	4	0.14<x<0.36	93	>0.36	3
2	Arena de grano medio a fino	<0.13	3	0.13<x<0.35	95	>0.35	2
3	Arena de grano fino a medio	<0.17	1	0.17<x<0.51	89	>0.51	10
4	Arena de grano fino a medio	<0.13	1	0.13<x<0.50	88	>0.50	11
5	Arena de grano fino	<0.07	0	0.07<x<0.41	90	>0.41	10
			$\Sigma= 1.8$		$\Sigma= 91$		$\Sigma= 7.2$

5.4 Variaciones morfológicas que se han producido en la margen izquierda descendente del río Orinoco en el área de estudio

5.4.1 Desaparición de la Isla Tarrayero

El tramo del río Orinoco en estudio, entre el Km 446 y Km 458, al igual que el tramo inmediato aguas abajo (Isla Tarrayero – Isla El Troncón) el cual ha sufrido evidentes variaciones que se pueden observar en la morfología de las márgenes y de las islas periódicas aflorantes durante la época de aguas bajas. Tan evidentes han sido los cambios en el sector mencionado sector que desde hace una década la isla Tarrayero, la cual se había considerado tan estable como la isla El Troncón (antes ubicada hacia la ribera izquierda descendente), desapareció y desde entonces no ha vuelto a aflorar durante el período de estiaje del río.

5.4.2 Barras migratorias

En una revisión del archivo histórico conducido por la Base Caicara de la CVG Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco (CVG GCNO) se encontraron evidencias documentales, basados en planos batimétricos costa a costa, de que el área adyacente a la actual alineación del desafortunado 3er puente sobre el río Orinoco (no

concluido) es morfodinámicamente muy activa según se puede observar en los modelos geomorfológicos digitales, elaborados por la citada institución estatal, de un estudio correspondiente a los años 1997, 2003 y 2007, en los cuales se puede observar barras migratorias laterales que avanzan hacia aguas abajo con una velocidad aproximada del orden de 600 metros por año (figura 5.8).

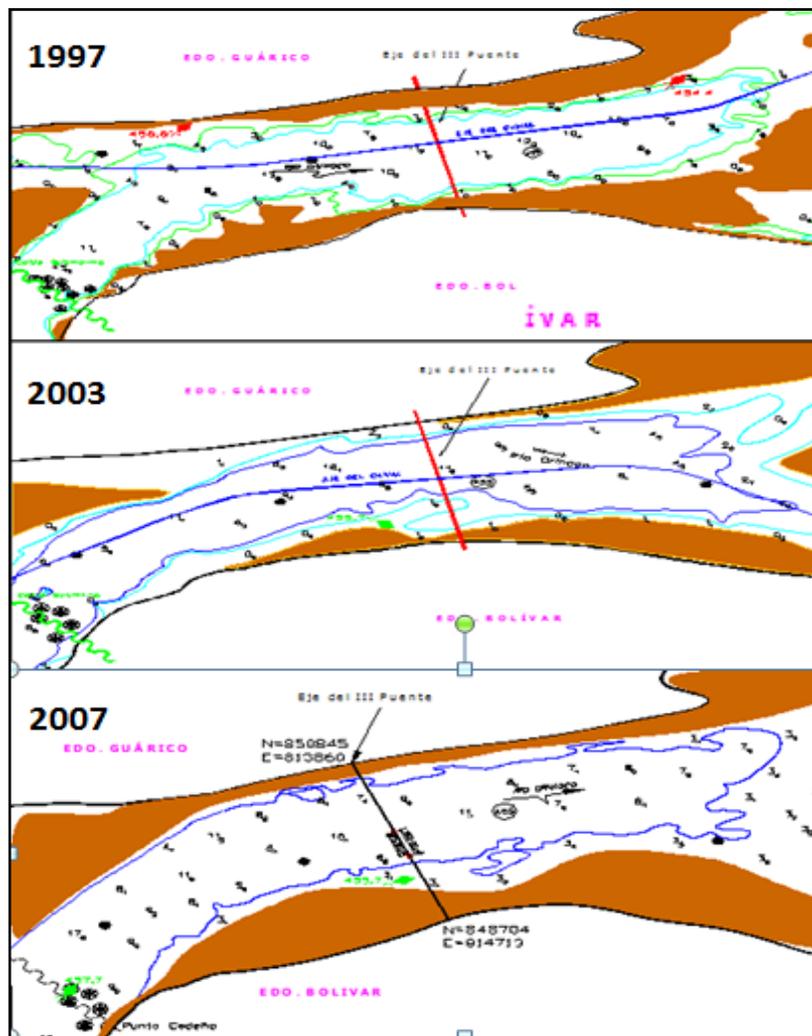


Figura 5.8 Modelos geomorfológicos de barras laterales adyacentes al 3er Puente. (CVG GCNO, 2008).

5.4.3 Incremento de concavidad de la costa en ribera norte

En la imagen de satélite Landsat de Google Earth del año 2015 correspondiente al período de aguas medias descendentes (Noviembre), se puede observar el avance de la erosión en dirección norte de la línea de la ribera izquierda descendente. En la figura 5.9 se puede notar como el río ha formado una isla subparalela a la ribera norte mediante procesos de avances de las aguas en esa dirección con lo cual se ha producido una pérdida de tierras del estado Guárico ganada por las corrientes del río. Obsérvese la línea de trazo segmentado como la línea de ribera anterior y la línea de trazo continuo que sigue las zonas inundadas en el proceso de configuración de la nueva línea de la costa norte del río en ese tramo.



Figura 5.9 Imagen de satélite mostrando aproximaciones de la línea de ribera precedente (línea segmentada) y la línea de ribera en formación (línea continua) (Google Earth, 2022 modificada por Blanco y Rodríguez).



Figura 5.10 Ribera izquierda descendente del área de estudio (archivo fotográfico de Echeverría, D., 2000).

Una clara evidencia de este avance de la línea de costa en dirección norte la representa la erosión sufrida en todo el entorno de la Torre de transmisión de energía eléctrica de CORPOELEC construida en 1992. La Torre en cuestión se encontraba en la ribera norte e incluso, sus constructores en su momento previeron posibles procesos erosivos y colocaron gaviones entre los cabezales de fundaciones de la mencionada torre y el río (figura 5.11)

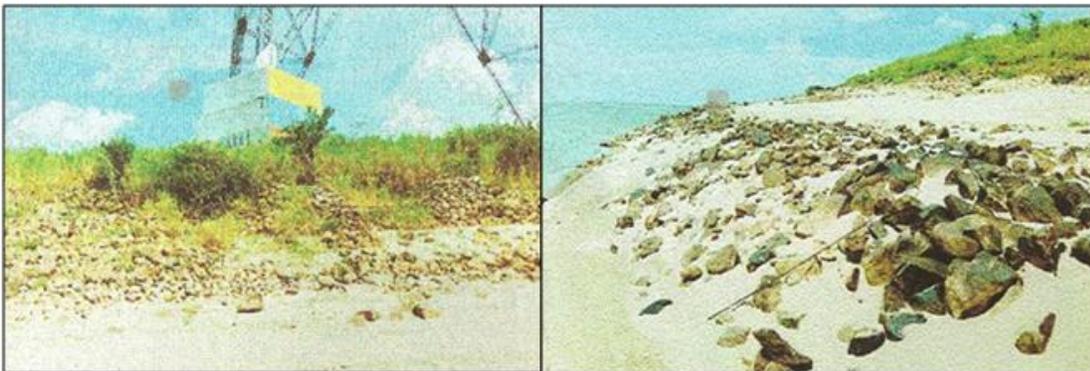


Figura 5.11 Torre T4 de CORPOELEC, nótese restos de los gaviones en la ribera, ya mostrando daños por el intemperismo (Echeverría, 1998).

Sin embargo, entre los años 1992 al 2006 el río erosionó desde la ribera original (1992) hasta dejar la torre a unos 40 m de la orilla. Se estima que entre los años 2006 y 2008 continuó el proceso de erosión de la ribera norte dejando a la torre a unos 120 m de la orilla (Huascar, 2008). Entre los años 2008 y 2015 la magnitud del proceso de erosión ocurrido distanció a la torre de la línea de costa más de 400 m. Entre el 2015 y la fecha de elaboración del presente estudio las condiciones de la erosión de avance de la línea de costa en dirección norte ubican a la torre en aproximadamente 450 m de la ribera dentro del cauce del río Orinoco. A través de las siguientes imágenes fotográficas presentadas en la figura 5.12 se presentan diferentes estadios del proceso de erosión mostrando a la mencionada estructura de conducción de electricidad con los pilares de fundación al desnudo evidenciándose una magnitud de socavación de aproximadamente 6 m.



Figura 5.12 A la izquierda Imagen de satélite Landsat mostrando a la Torre T4 a 400 m de la ribera, dentro del cauce del río Orinoco para el 02/09/2015 (Google Earth, 2022). Al centro imágenes de la torre a 220 m de la ribera para el año 2008. A la derecha, restos de enrocado de los viejos gaviones de protección construidos en la ribera en el año 1992 (Huascar, C.A., 2008).

Finalmente, es interesante observar en la carta náutica elaborada por el Instituto Nacional de Canalizaciones en Abril del 1998 la cual muestra en la ribera del río a la citada torre.

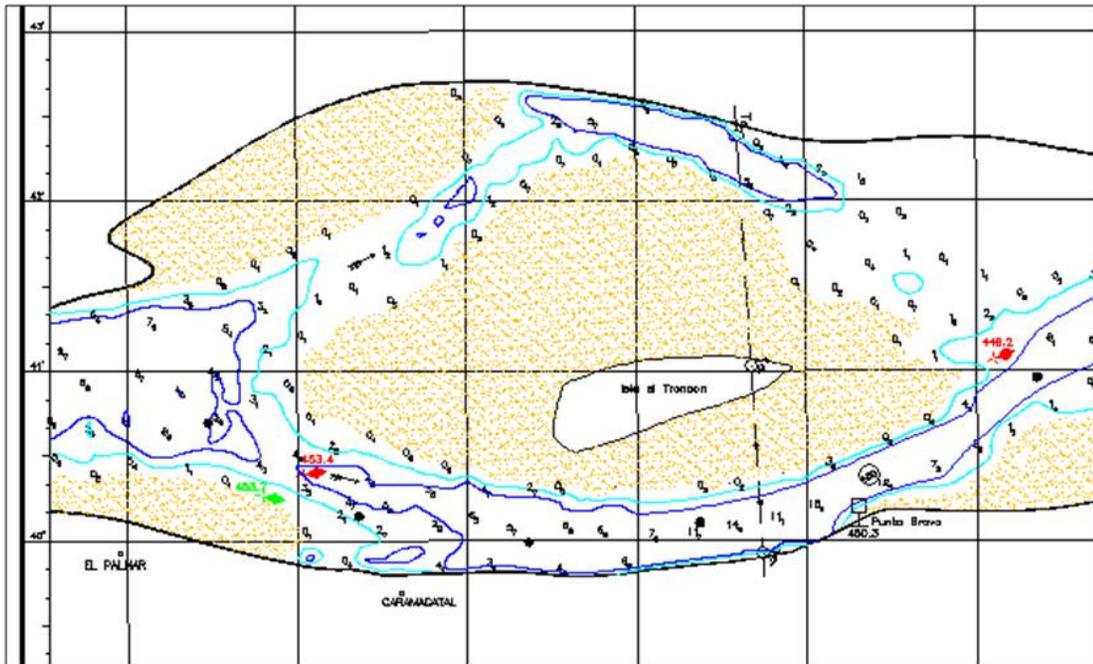


Figura 5.13 Fracción de la carta náutica O-B-56 del área de estudio donde se ubica la torre de CORPOELEC en la ríbera izquierda descendente (INC, 1998).

5.4.4 Comparación temporal de las profundidades del lecho

La CVG GCNO puso a disposición de esta investigación, sólo para la extracción de la información, dos (2) levantamientos batimétricos de tipo costa a costa del tramo comprendido entre la milla 455 y la milla 457 del canal de navegación correspondientes a los años 1998 y 2007. En ese orden de ideas, se presenta a continuación una comparación entre diez (10) secciones transversales elegidas en pares de común ubicación en ambos levantamientos batimétricos.

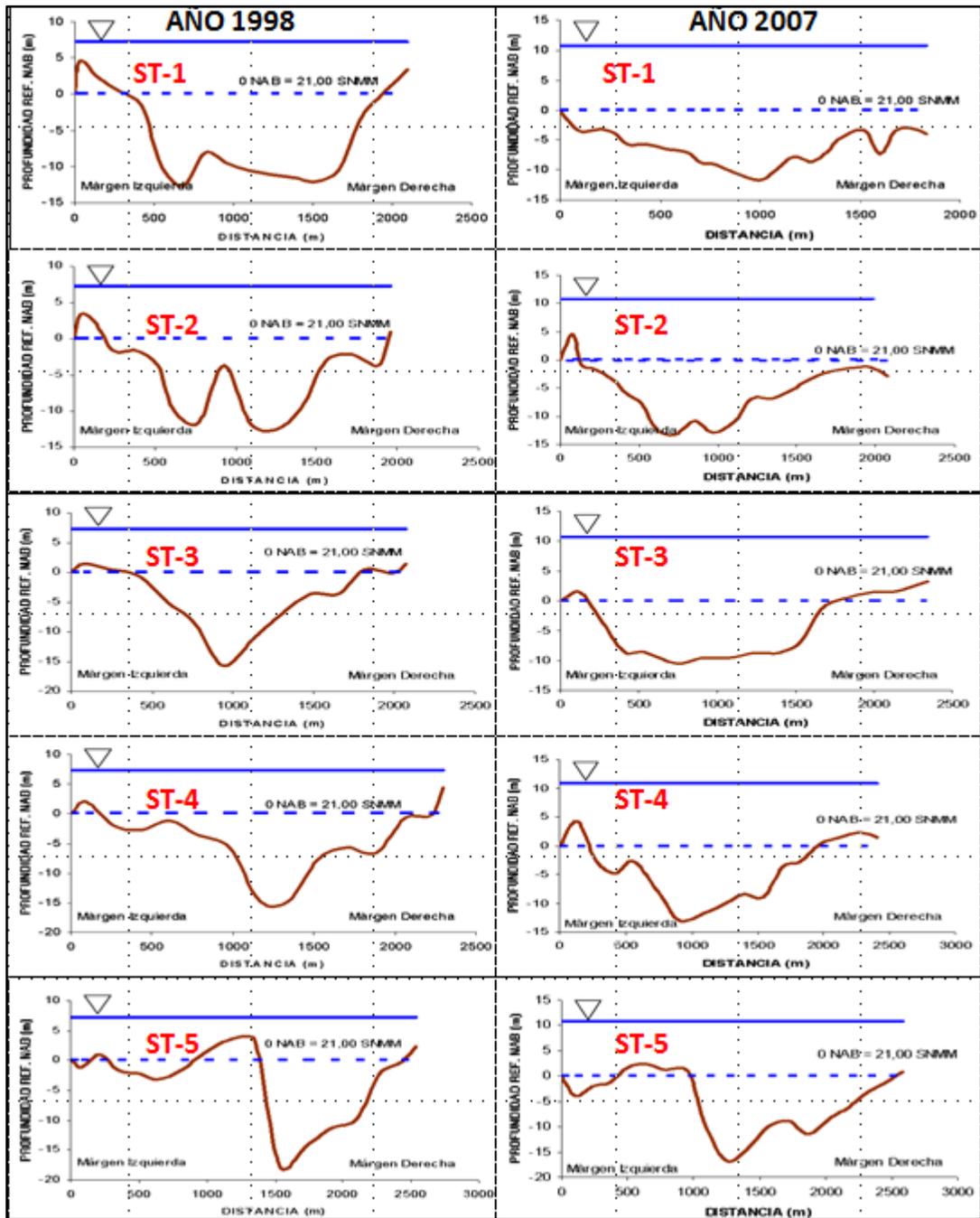


Figura 5.14 Comparación de secciones transversales del cauce entre las millas 455 y 457 de los años 1998 a la derecha y 2007 a la izquierda.

En la figura anterior se puede observar que casi de forma generalizada en todas las secciones transversales correspondientes al año 2007 existe una tendencia hacia la margen izquierda descendente (margen norte).

También se efectuó la comparación temporal de la morfología del cauce a través de las imágenes de los modelos digitales del terreno (MDT) correspondientes al tramo evaluado para los años 1998 y 2007 haciendo uso de los datos extraídos de los planos batimétricos tipo costa a costa de los levantamientos respectivos.

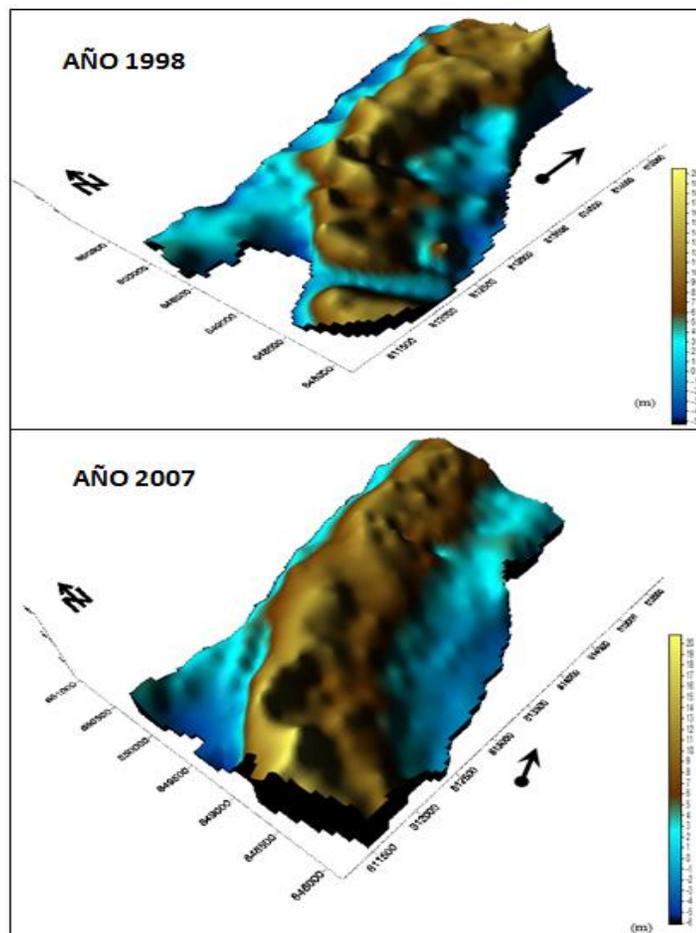


Figura 5.15 Imágenes MDT entre las millas 455 y 457 correspondientes a los años 1998 y 2007.

En las imágenes de los modelos digitales del terreno correspondientes al tramo en estudio se puede observar que las profundidades hacia el lado de la ribera norte se han incrementado moderadamente para el período de observación pautado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. De acuerdo a los análisis granulométricos realizados a las muestras tomadas en el área de estudio se pudo concluir que de acuerdo al criterio establecido por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos las muestras se corresponden a Arenas mal gradadas (SP). Asimismo, se debe acotar que los ensayos morfoscópicos las formas predominantes de las partículas, de acuerdo a los resultados de los ensayos morfoscópicos, van de subredondeadas a subangulosas lo cual es indicativo de un moderado transporte bajo condiciones de elevada fricción.

2. Dado el rango de diámetro medio (d_{50}) de las partículas entre 0.17 mm y 0.32 mm, de acuerdo al criterio de Hjulström, para rangos de velocidades del flujo inferiores a 1.2 cm/s y 2.1cm/s se producirá la depositación de las partículas en el cauce, pero con velocidades del flujo superiores a 19 cm/s y 23 cm/s, esta rapidez de las corrientes producirán el esfuerzo cortante necesario para producir la erosión del cauce.

3. De acuerdo al criterio de Visher, el mecanismo predominante de movilización de las partículas es el de saltación movilizándose entre el 88% y el 95% de los materiales del lecho. Mientras que el segundo mecanismo responsable del movimiento de las partículas es el de tracción, correspondiéndole entre un 11% al 3%. Esto deja sólo de 1% a 3% como mecanismo de transporte a la suspensión.

4. Las diversas evidencias revisadas sobre las variaciones morfológicas que ha sufrido la margen izquierda descendente del río Orinoco entre las millas 446 y la milla 458 permiten afirmar que este sector del río Orinoco es hidráulica y

sedimentológicamente muy activo y permite inferir una tendencia futura a mantener las condiciones imperantes de erosión de la margen norte señaladas .

Recomendaciones

Se recomienda a los entes estatales responsables de mantener el control de los parámetros hidro-sedimentarios del canal de navegación y sus adyacencias, mantener de manera sistemática y periódica la medición de profundidades, caudales, niveles y velocidades del río, con el fin de mantener actualizada la base de datos. Siempre utilizable para la aplicación en modelos matemáticos hidrodinámicos y/o sedimentológicos.

REFERENCIAS

ACBL de Venezuela (2000). **ARCHIVO FOTOGRÁFICO**. Consultado el 28/04/2022.

https://www.google.co.ve/search?q=Trenes+de+gabarra+con+bauxita+en+el+rio+Orinoco&tbm=isch&ved=2ahUKEwjP_rjHhrj3AhVijoQIHRQ6DK8Q2-cCegQIABAA

Allen, G.P., Segura F. **SEDIMENTOLOGÍA DE LOS DEPÓSITOS CLÁSTICOS**. Curso de Sedimentología. Total. pp. 3 – 16.

Armada Bolivariana (2017). **PRODUCCIÓN DE CARTAS DE NAVEGACIÓN EN EL RÍO ORINOCO EN EL TRAMO BOCA GRANDE - MATANZAS, DESDE LA MILLA 0 HASTA LA MILLA 200**. Consultado el 28/04/2022.

https://www.ihomachc.org/documents/micc/PROYECTO_CARTOGRAFIADO_DEL_RIO_ORINOCO_VENEZUELA_HO.pdf

Awake Travel (2018). **EXPEDICIÓN EN KAYAK POR EL ORINOCO**. Consultado el 28/04/2022. <https://awake.travel/vichada-y-orinoco/experiencia/expedicion-en-kayak-por-el-rio-orinoco/#:~:text=Este%20es%20un%20plan%20ideal,formados%20por%20el%20Escudo%20Guayan%C3%A9s>.

Balestrini, A., M. (1998) **CÓMO SE ELABORA UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. BL Consultores Asociados. Servicio Editorial. Caracas, Venezuela, pp. 122.

Balestrini A., M. (2002) **COMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Consultores OBL, Caracas, Venezuela, Sexta edición, pp 09.

Bates, A. (1980) **MÉTODO DE OPERACIÓN DE DRAGADO**. Primer Curso Interamericano de Ingeniería de Dragado, Maracaibo- Venezuela.

Bermúdez, G. y Echeverría, D. (1990) **DETERMINACION DE LA TASA DE SEDIMENTACIÓN EN EL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO TRAMO ARAYA- GUASINA ESTADO BOLÍVAR**. Instituto Nacional de Canalizaciones, Ciudad Bolívar -Venezuela, pp12.

Cázares, L. (1999) **TÉCNICAS ACTUALES DE INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL**. Editorial Trillas, D.F, México pp.18.

Chang, H. (1988) **FLUVIAL PROCESSES IN RIVER ENGINEERING**. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York. United States Of America. pp. 446.

Chow, V. T. (1994) **HIDRÁULICA DE CANALS ABIERTO**. Serie McCraw Hill Interamericano S.A. Bogota, Colombia.

Consultora Caura. (1994). **ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DRAGADO DEL RÍO ORINOCO, TRAMO MATANZAS – BOCA GRANDE**.

Colmenares, R. (2019). **RIO ORINOCO**. Ríos del planeta. Consultado el 28/04/2022. <https://riosdelplaneta.com/rio-orinoco/>

Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G. Tecmin, 1989) **INFORME DE AVANCE NC-20-14**. Tomo I, II y III

Gabaldón M., N. (1982) **ALGUNOS CONCEPTOS DE MUESTREOS**. Editorial Caracas Universidad Central de Venezuela, Venezuela, 07.

González De Juana, C., Picard C., X. y Iturralde, J. (1980) **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Tomo I Y Ediciones FONINVES, pp 23-34

Hurtado, A. (1999). **LA PÁGINA DE CAICARA DEL ORINOCO**. Consultado el 28/04/2022. <https://www.angelfire.com/biz/caicara/indice.html>

Instituto Nacional de canalizaciones (2003) **DERROTERO PARA LA CANALIZACIÓN DEL RÍO ORINOCO TRAMO MATANZA- BOCA GRANDE, PUERTO ORDAZ- ESTADO BOLÍVAR VENEZUELA**. pp 11,12, 15, 51, 34 35.

Instituto Nacional de Canalizaciones (2004). **CARTAS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO. TRAMO EL JOBAL-MATANZAS**. Gerencia del Canal del Orinoco. Base Caicara. Caicara del Orinoco.

Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología INAMEH (2018). **BOLETIN HIDROLÓGICO MENSUAL. Julio –Agosto 2018**. Consultado el 28/04/2022. http://www.inameh.gob.ve/web/PDF/_gsdata/_saved_/Boletin%20Hidrologico%20Mensual%20Julio.pdf

Linsley, R. (1990) **INGENIERÍA DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS**. Continental pp. 791

Martínez, R. (1994), **CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DEL SECTOR CURIAPO DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO. ESTADO DELTA AMACURO. VENEZUELA.** Universidad de Oriente, Escuela Ciencias de la Tierra, Bolívar, Venezuela; Trabajo de grado.

Mendoza S., V. (2.000) **EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA (Y SU RELACIÓN CON EL ESCUDO SUDAMERICANO).** Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra y Minera Hecla Venezuela, C.A., Ciudad Bolívar: pp. 34-48.

Mori, M. (2003) **SIMULACIÓN HIDRÁULICA APLICADA USANDO HEC- RAS.** 20 de marzo del 2010, [www.gabrielortiz.com/descarga/manual-hecras.pdf.españa] Gabriel Ortiz noviembre del 2003

Mota, A. y Rodríguez (2002), **ESTUDIOS GEOMORFOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LAS BERMAS EN EL SECTOR GUASINA Y TALUDES SUMERGIDOS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN EN LOS SECTORES DE GUARGUAPO, BARRANCAS, YAYA, ARAGUAITO Y GUASINA, DEL RÍO ORINOCO VENEZUELA.** Universidad de Oriente, Escuela Ciencias de la Tierra, Bolívar, Venezuela; Trabajo de grado.

Petróleos de Venezuela PDVSA- Intevep (1.999-2.001) **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA.** 10 de Octubre 2005.[[http:// www.pdv.com/léxicoestratigráfico](http://www.pdv.com/léxicoestratigráfico)]

Ramírez, H. (2006) **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA -AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CURIAPO DEL MUNICIPIO AUTÓNOMO HERES DEL ESTADO BOLÍVAR.** Universidad de Oriente, Escuela Ciencias de la Tierra, Bolívar, Venezuela; Trabajo de grado.

Rodríguez, A. R. (2018). **LA VERDAD SOBRE LOS MINERALES METÁLICOS Y NO METÁLICOS DEL ESTADO BOLÍVAR. (MAPA DE LAS PROVINCIAS GEOLÓGICAS DEL ESTADO BOLÍVAR).** Consultado el 28/04/2022.

<https://www.google.co.ve/search?q=mapa+geologico+del+escudo+de+guayana&tbm=isch&ved=2ahUKEwjR5OrV2rb3AhXPbDABHVn8BhoQ2-cCegQIABAA#imgrc=wWoQJWLVHwutkM&imgdii=dV3jl8pMY-4-aM>

Sabino, C. (1992) **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN.** Editorial Panamo. Caracas, Venezuela. p. 80.

Schumm, S. A. (1977). **RIVER MORPHOLGY**. Hutchinson & Ross, cop, pp. 429

Tippetts, Abbett, Mc Carthy y Stratton, Engineers and Architects. (1970). **TRANSPORTE DE MINERAL DE HIERRO DE PUERTO ORDAZ AL MAR**. Informe para el Instituto Nacional de Canalizaciones. Caracas. Pp 21-32,45-54,63-68

Yang, H. (1996) **SEDIMENT TRANSPORT THEORY AND PRACTICE**. Editorial Mc Graw- Hill. New York, pp 12 - 41.

Van Rijn, L. (1993). **PRINCIPLES OF SEDIMENT TRANSPORT IN RIVER, ESTUARIES AND COASTAL SEAS**. University of Utrech. Department of Physical Geography pp 4.1

Vélez, S. (2003) **CANALES HIDRÁULICOS PARA NAVEGACIÓN**. 13 de marzo del 2011. [http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/canales_navegables/index.html].

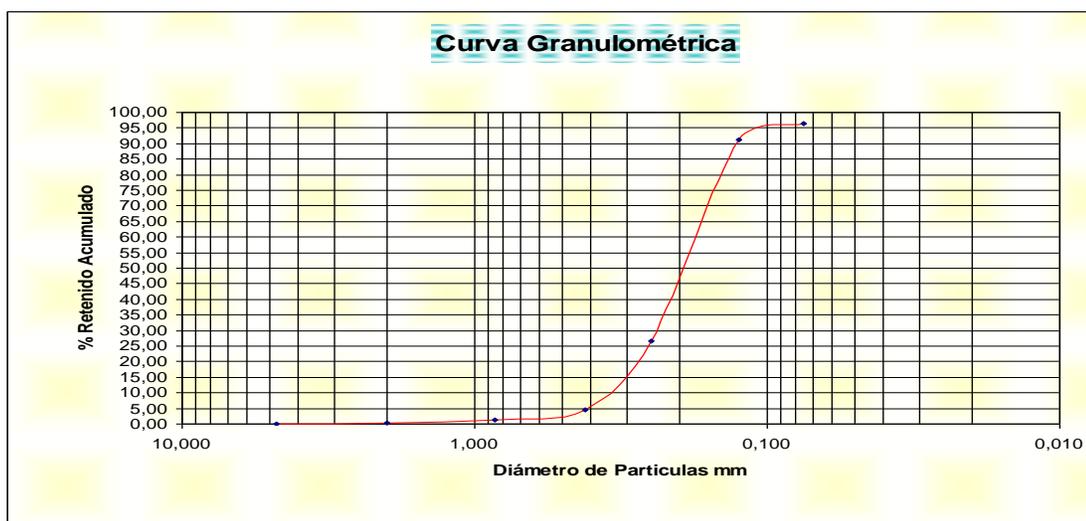
APÉNDICES

APÉNDICE A
DATOS Y CURVAS DE DISTRIBUCIÓN
GRANULOMÉTRICA

A.1 Análisis granulométrico de la muestra 1.

<p>Universidad de Oriente Núcleo Bolívar Escuela de Ciencias de la Tierra Departamento de Geología Código de la muestra: 1 Ubicación relativa: Río Orinoco. Calicata Margen izquierda descendente. Tramo Km 446 a Km 458. Coordenadas UTM de ubicación: E 811719 y 849679 (huso 19) Laboratorio: Geoambiente</p>	<p>Operadores: J. Blanco y J. Rodríguez</p> 
--	--

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO												
NORMA A.S.T.M. D - 422			Peso del Tamiz (gr.)	Peso del Tamiz + Suelo (gr.)	Peso del Suelo (gr.)	% Ret. en Cada Tamiz	% Acum. en Cada Tamiz	% Pasante de Cada Tamiz	Peso de la Muestra Para el Ensayo			
Abertura Nominal	Diámetro mm	Tamiz N°										
Granulometría Gruesa GRAVAS	Gruesa	64,00	2 1/2						Peso Inicial del la Muestra + Bandeja	510	gr	
		19,00	3/4						Peso Total o Inicial de la Muestra	500	gr	
	Fina	12,700	1/2						Peso Final de Suelo	493,6	gr	
		9,500	3/8						Peso en Pérdida	6,40	gr	
		4,750	N° 4	431,2	431,60	0,40	0,08	0,08	99,92	Porcentaje (%) en Pérdida	1,28	%
Granulometría Fina ARENAS	Med. Grue.	2,000	N°10	403,2	404,40	1,20	0,24	0,32	99,68	Pérdida no Mayor según ASTM	3	%
		0,850	N° 20	352,2	357,80	5,60	1,13	1,46	98,54	Peso de la Bandeja	10	gr
	Fina	0,420	N° 40	315,2	330,40	15,20	3,08	4,54	95,46	Después de Lavarla	-	gr
		0,250	N° 60	286,4	395,60	109,20	22,12	26,66	73,34			
		0,125	N° 120	282,6	601,40	318,80	64,59	91,25	8,75			
		0,075	N° 200	268,2	293,60	25,40	5,15	96,39	3,61			
Pan ó Pasa (N° 200)			253,6	271,40	17,80	3,61	100,00	0,00				

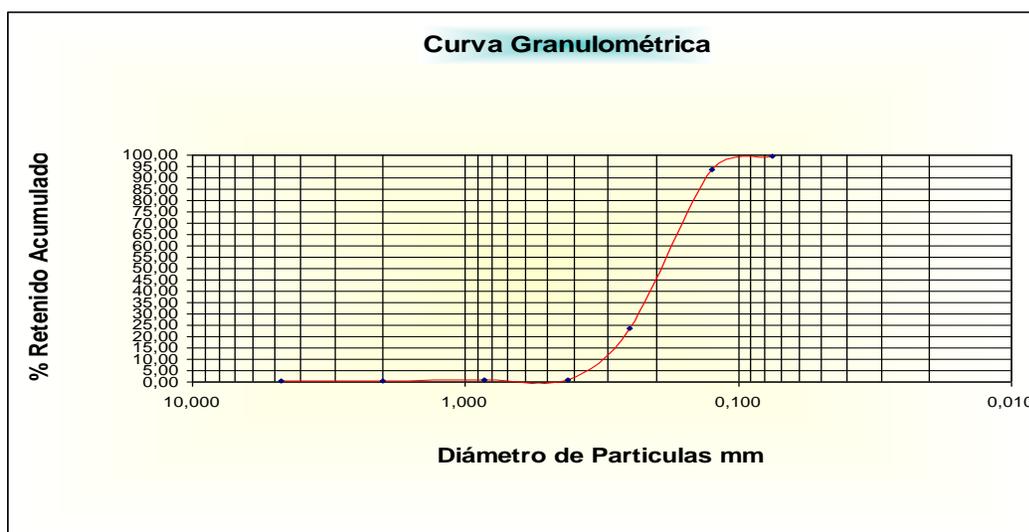


A.2 Curva de distribución granulométrica de la muestra 1

A.3 Análisis granulométrico de la muestra 2.

Universidad de Oriente Núcleo Bolívar Escuela de Ciencias de la Tierra Departamento de Geología Código de la muestra: 2 Ubicación relativa: Río Orinoco. Lecho del río margen izquierda descendente. Tramo Km 446 a Km 458. Coordenadas UTM de ubicación: E 814028 y 850341 (huso 19) Laboratorio: Geoambiente	
Operadores: J. Blanco y J. Rodríguez	

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO												
NORMA A.S.T.M. D - 422			Peso del Tamiz (gr.)	Peso del Tamiz + Suelo (gr.)	Peso del Suelo (gr.)	% Ret. en Cada Tamiz	% Acum. en Cada Tamiz	% Pasan te de Cada Tami z	Peso de la Muestra Para el Ensayo			
Abertura Nominal	Diámetro mm	Tamiz N°										
Granulometria Gruesa GRASAS	Gruesa	64,00	2 1/2						Peso Inicial del la Muestra + Bandeja	510	gr	
		19,00	3/4						Peso Total o Inicial del la Muestra	500	gr	
	Fina	12,700	1/2						Peso Final de Suelo	499	gr	
		9,500	3/8						Peso en Pérdida	1,00	gr	
		4,750	N° 4	431,0	432,20	1,20	0,24	0,24	99,76	Porcentaje (%) en Pérdida	0,20	%
Granulometria Fina ARENAS	Med. Grue.	2,000	N°10	403,0	405,00	2,00	0,40	0,64	99,36	Pérdida no Mayor según ASTM	3	%
		0,850	N° 20	351,8	353,00	1,20	0,24	0,88	99,12	Peso de la Bandeja	10	gr
	Fina	0,420	N° 40	315,6	316,20	0,60	0,12	1,00	99,00	Después de Lavarla		gr
		0,250	N° 60	285,2	398,60	113,40	22,73	23,73	76,27			
		0,125	N° 120	282,4	631,60	349,20	69,98	93,71	6,29			
		0,075	N° 200	269,2	298,00	28,80	5,77	99,48	0,52			
Pan ó Pasa (N° 200)			254,0	256,60	2,60	0,16	100,00	0,00				

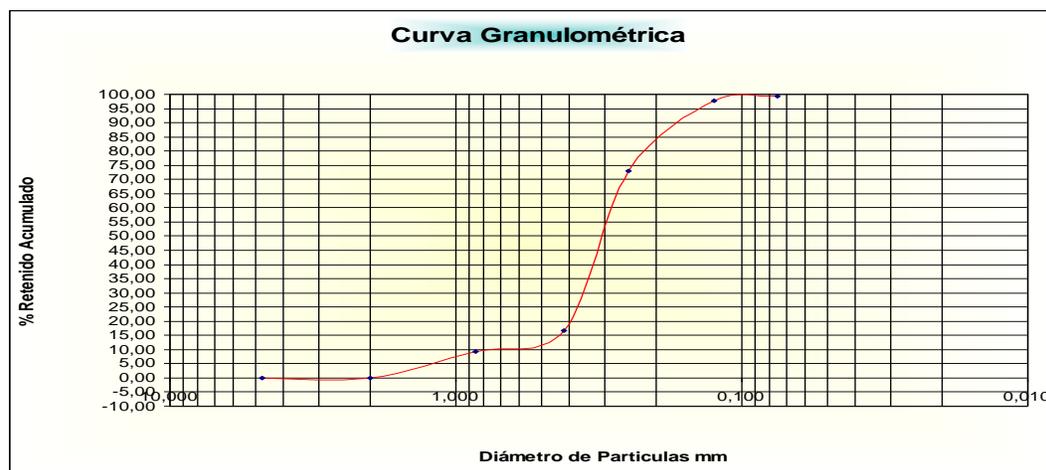


A.4 Curva de distribución granulométrica de la muestra 2

A.5 Análisis granulométrico de la muestra 3

Universidad de Oriente Núcleo Bolívar Escuela de Ciencias de la Tierra Departamento de Geología Código de la muestra: 3 Ubicación relativa: Río Orinoco. Lecho del río margen izquierda descendente. Tramo Km 446 a Km 458. Coordenadas UTM de ubicación: E 8166948 y 851173 (huso 19) Laboratorio: Geoambiente	
Operadores: J. Blanco y J. Rodríguez	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO												
NORMA A.S.T.M. D - 422 - 63			Peso del Tamiz (gr.)	Peso del Tamiz + Suelo (gr.)	Peso del Suelo (gr.)	% Ret. en Cada Tamiz	% Acum. en Cada Tamiz	% Pasan te de Cada Tami z	Peso de la Muestra Para el Ensayo			
Abertura Nominal	Diámetro mm	Tamiz N°										
Granulometria Gruesa GRAVAS	Gruesa	64,00	2 1/2						Peso Inicial del la Muestra + Bandeja	510	gr	
		19,00	3/4						Peso Total o Inicial del la Muestra	500	gr	
	Fina	12,700	1/2						Peso Final de Suelo	490,6	gr	
		9,500	3/8						Peso en Pérdida	9,40	gr	
		4,750	N° 4	431,6	431,60	0,00	0,00	0,00	100,0	Porcentaje (%) en Pérdida	1,88	%
Granulometria Fina ARENAS	Med. Grue.	2,000	N°10	404,0	404,40	0,40	0,08	0,08	99,92	Pérdida no Mayor según ASTM	3	%
		0,850	N° 20	352,2	396,80	44,60	9,09	9,17	90,83	Peso de la Bandeja	10	gr
	Fina	0,420	N° 40	315,0	352,40	37,40	7,62	16,80	83,20	Después de Lavarla		gr
		0,250	N° 60	284,6	560,20	275,60	56,18	72,97	27,03			
		0,125	N° 120	281,8	403,00	121,20	24,70	97,68	2,32			
		0,075	N° 200	268,2	277,20	9,00	1,83	99,51	0,49			
Pan ó Pasa (N° 200)			253,4	255,80	2,40	0,50	100,00	0,00				

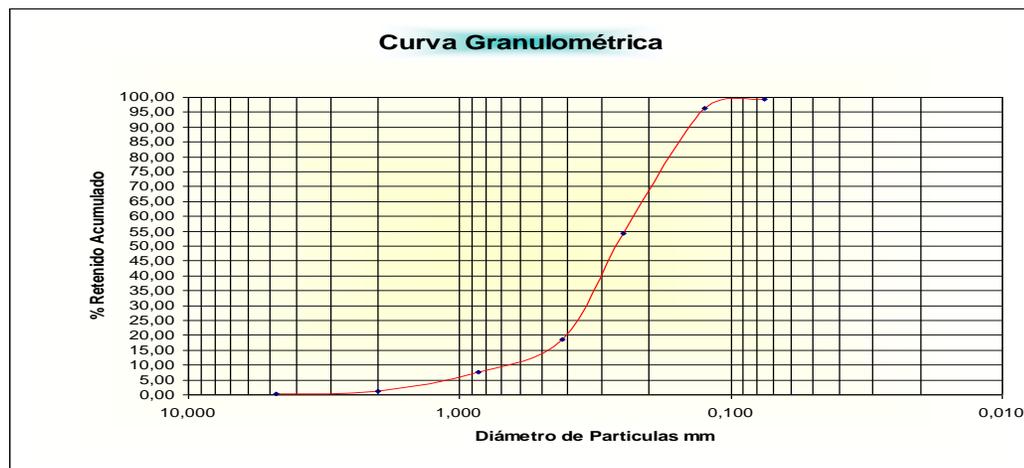


A.6 Curva de distribución granulométrica de la muestra 3

A.7 Análisis granulométrico de la muestra 4.

Universidad de Oriente Núcleo Bolívar Escuela de Ciencias de la Tierra Departamento de Geología Código de la muestra: 4 Ubicación relativa: Río Orinoco. Lecho del río margen izquierda descendente. Tramo Km 446 a Km 458. Coordenadas UTM de ubicación: E 819933 y 851596 (huso 19) Laboratorio: Geoambiente	
Operadores: J. Blanco y J. Rodríguez	

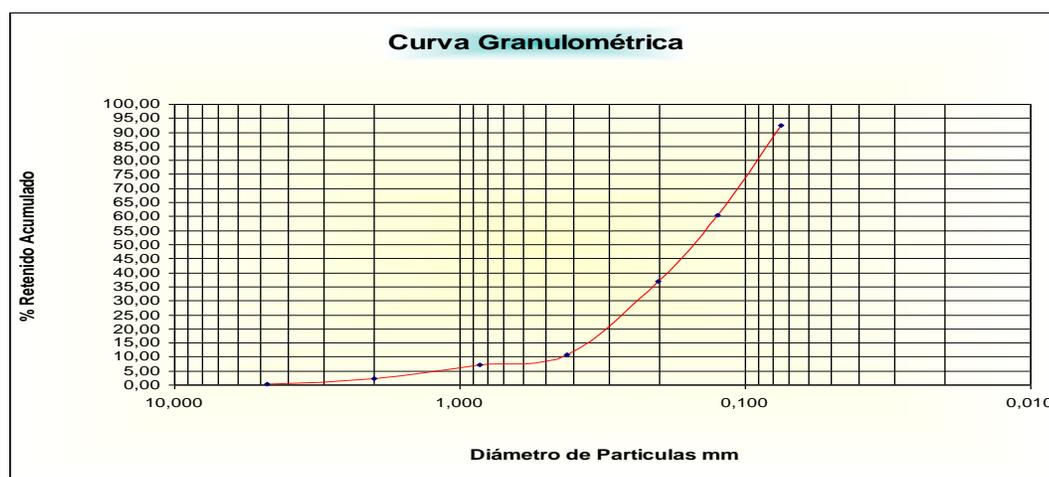
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO													
NORMA A.S.T.M. D - 422 - 63			Peso del Tamiz (gr.)	Peso del Tamiz + Suelo (gr.)	Peso del Suelo (gr.)	% Ret. en Cada Tamiz	% Acum. en Cada Tamiz	% Pasante de Cada Tamiz	Peso de la Muestra Para el Ensayo				
Abertura Nominal	Diámetro mm	Tamiz N°											
Granulometría Gruesa	GRASAS	Gruesa	64,00	2 1/2						Peso Inicial de la Muestra + Bandeja	510	gr	
			19,00	3/4							Peso Total o Inicial de la Muestra	500	gr
	ARENAS	Fina		12,700	1/2						Peso Final de Suelo	493,6	gr
				9,500	3/8							Peso en Pérdida	6,40
			4,750	N° 4	430,6	432,00	1,40	0,28	0,28	99,72	Porcentaje (%) en Pérdida	1,28	%
Granulometría Fina	ARENAS	Med. Grue.	2,000	N°10	403,0	407,20	4,20	0,85	1,13	98,87	Pérdida no Mayor según ASTM	3	%
			0,850	N° 20	351,8	384,00	32,20	6,60	7,66	92,34	Peso de la Bandeja	10	gr
			0,420	N° 40	314,8	368,40	53,60	10,86	18,52	81,48	Después de Lavarla		gr
	Fina		0,250	N° 60	285,4	461,40	176,00	35,66	54,17	45,83			
			0,125	N° 120	284,0	492,20	208,20	42,18	96,35	3,65			
			0,075	N° 200	269,0	284,60	15,60	3,16	99,51	0,49			
Pan ó Pasa (N° 200)			254,0	256,40	2,40	0,49	100,00	0,00					



A.9 Análisis granulométrico de la muestra 5.

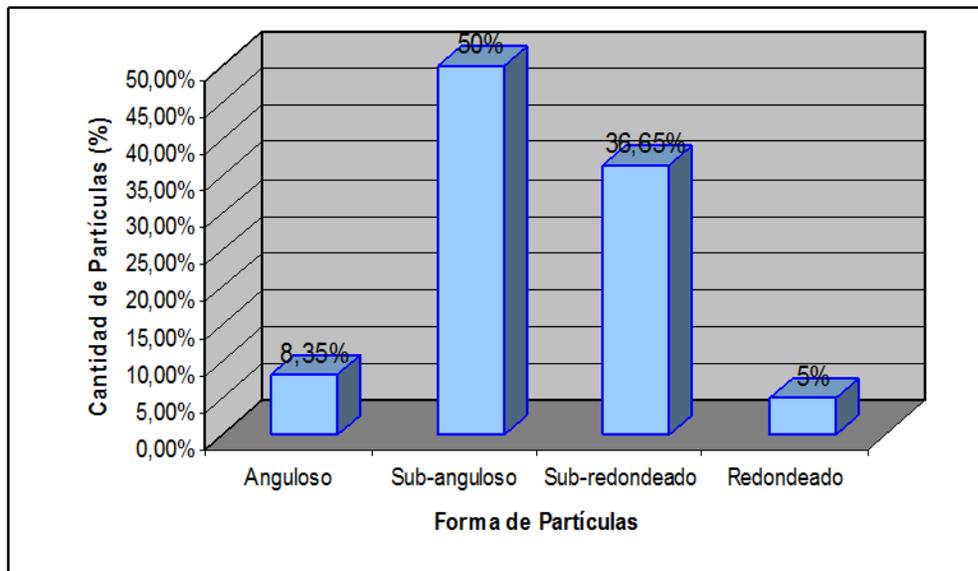
Universidad de Oriente Núcleo Bolívar Escuela de Ciencias de la Tierra Departamento de Geología Código de la muestra: 5 Ubicación relativa: Río Orinoco. Lecho del río margen izquierda descendente. Tramo Km 446 a Km 458. Coordenadas UTM de ubicación: E 821916 y 852815 (huso 19) Laboratorio: Geoambiente	
Operadores: J. Blanco y J. Rodríguez	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO													
NORMA A.S.T.M. D - 422 - 63			Peso del Tamiz (gr.)	Peso del Tamiz + Suelo (gr.)	Peso del Suelo (gr.)	% Ret. en Cada Tamiz	% Acum. en Cada Tamiz	% Pasa en Cada Tamiz	Peso de la Muestra Para el Ensayo				
Abertura Nominal	Diámetro mm	Tamiz N°											
Granulometría Gruesa	GRAVAS	Gruesa	64,00	2 1/2						Peso Inicial de la Muestra + Bandeja	510	gr	
			19,00	3/4						Peso Total o Inicial de la Muestra	500	gr	
			12,700	1/2						Peso Final de Suelo	493,6	gr	
			9,500	3/8						Peso en Pérdida	6,4	gr	
			4,750	N° 4	431,2	433,6	2,40	0,49	0,49	99,5	Porcentaje (%) en Pérdida	1,28	%
Granulometría Fina	ARENAS	Med. Grue.	2,000	N°10	403,8	412,0	8,20	1,66	2,15	97,8	Pérdida no Mayor según ASTM	3	%
			0,850	N° 20	353,0	377,6	24,60	4,98	7,13	92,8	Peso de la Bandeja	10	gr
			0,420	N° 40	316,0	334,2	18,20	3,69	10,82	89,1	Después de Lavarla		gr
			0,250	N° 60	283,0	412,6	129,6	26,26	37,07	62,9			
			0,125	N° 120	268,2	384,4	116,2	23,54	60,62	39,3			
	0,075	N° 200	253,8	411,2	157,4	31,89	92,50	7,5					
Pan ó Pasa (N° 200)			284,8	321,80	37,00	7,50	100,00	0,00					

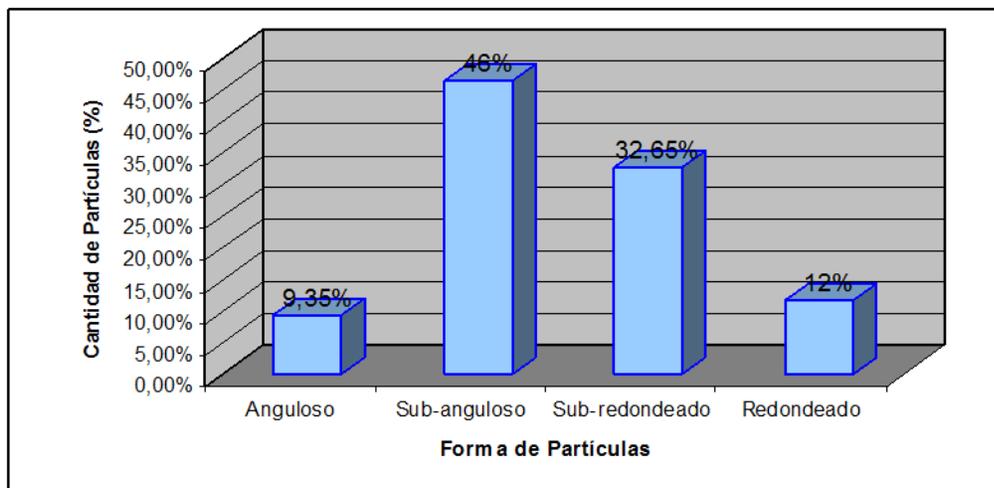


A.10 Curva de distribución granulométrica de la muestra 5.

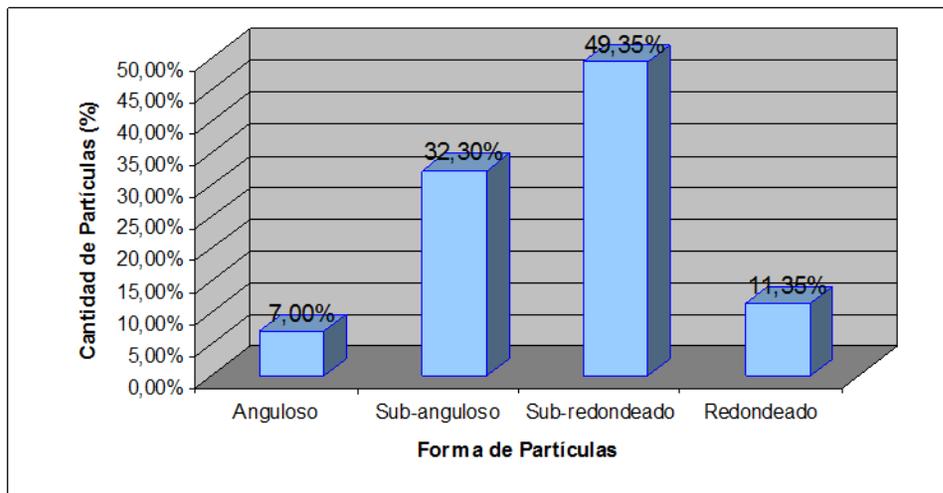
APÉNDICE B
HISTOGRAMAS DE LOS ANÁLISIS MORFOSCÓPICOS



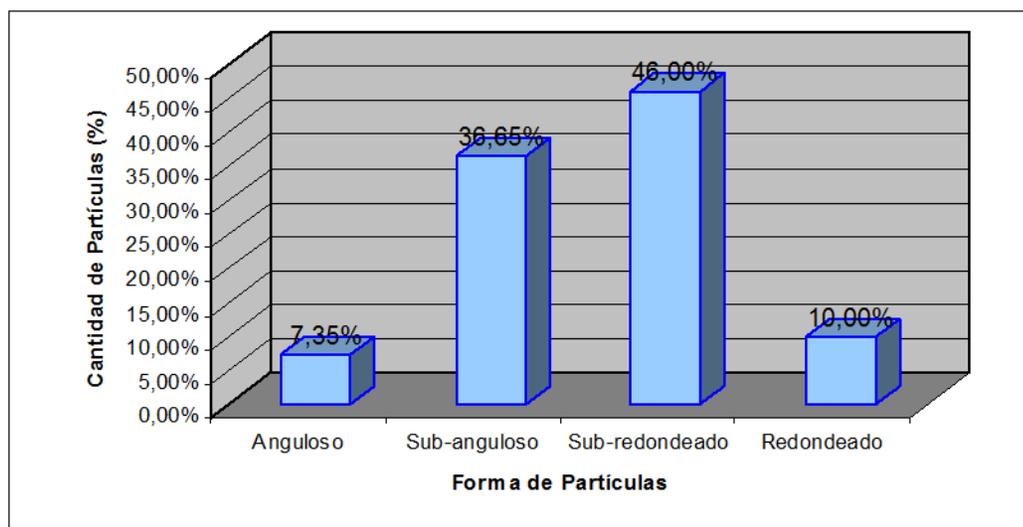
B.1 Histograma del análisis morfosκόpicó de la muestra 1.



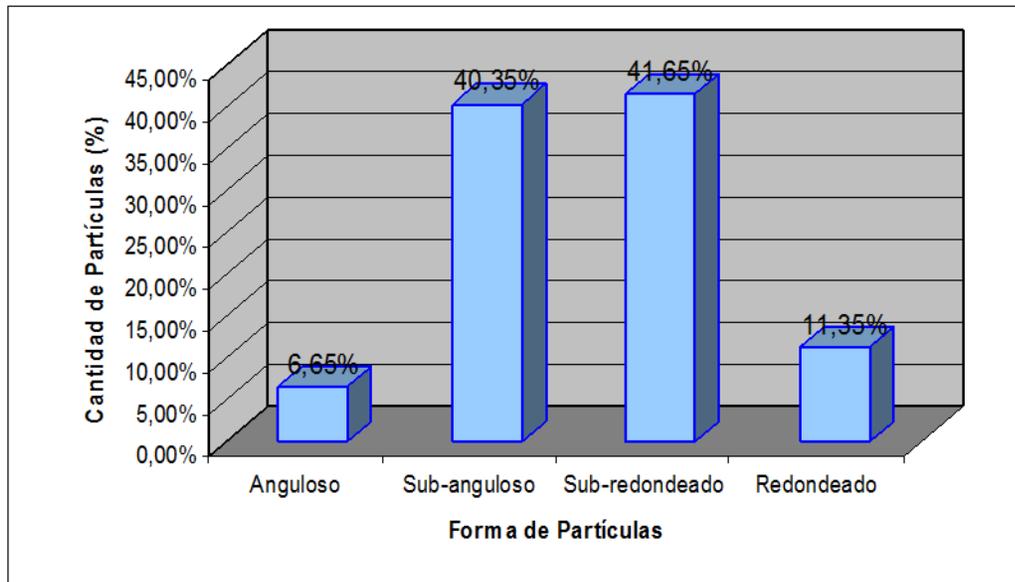
B.2 Histograma del análisis morfosκόpicó de la muestra 2.



B.3 Histograma del análisis morfosκόpicо de la muestra 3.



B.4 Histograma del análisis morfosκόpicо de la muestra 4.



B.5 Histograma del análisis morfosκόpico de la muestra 5.

APÉNDICE C
ESTIMACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG

Universidad de Oriente
Núcleo Bolívar
Escuela de Ciencias de la Tierra
Departamento de Geología
Código de la muestra: 1
+ ,m-3

Descripción: arena limosa, marrón claro



Ubicación relativa: Río Orinoco. Calicata Margen izquierda descendente. Tramo Km 446 a Km 458.

Coordenadas UTM de ubicación: E 811719 y 849679 (huso 19)

Laboratorio: Geoambiente

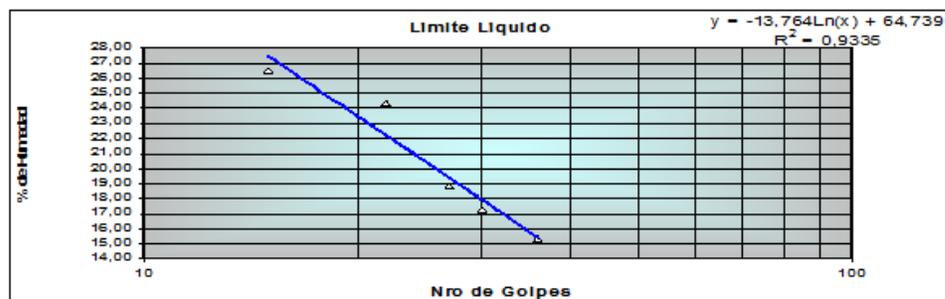
Operadores: J. Blanco y J. Rodríguez

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

TARANº	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (Grs)	103,35	102,10	101,48	98,04	99,30
CAP+S. HUM (Grs)	114,26	118,81	113,52	119,28	126,00
CAP+S. SECO (Grs)	111,97	115,54	111,61	116,15	122,45
Nº de GOLPES	15	22	27	30	36
% HUMEDADES	26,57	24,33	18,85	17,28	15,33

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

Nº DE TARA	1	2
PESO DE CAPSULA (Grs)	103,1	99,94
CAP + S. HUM (Grs)	113,49	109,76
CAP +S. SECO (Grs)	112,09	108,51
% HUMEDADES	15,57	14,59



Limite Liquido	20
Limite Plástico	15
Índice de Plasticidad	5

C.1 Estimación de límite líquido y límite plástico de la muestra 1.

Universidad de Oriente
 Núcleo Bolívar
 Escuela de Ciencias de la Tierra
 Departamento de Geología
 Código de la muestra: 5
 Ubicación relativa: Río Orinoco. Calicata Margen izquierda descendente. Tramo Km 446 a Km 458.
 Coordenadas UTM de ubicación: E 821916 y 852815 (huso 19)
 Laboratorio: Geoambiente

Descripción: arena limosa, marrón claro

Operadores: J. Blanco y J. Rodríguez



DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

TARA N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (Grs)	61,85	62,92	99,17	99,97	99,60
CAP+S. HUM (Grs)	78,96	73,34	115,18	114,55	122,97
CAP+S. SECO (Grs)	76,10	71,64	112,62	112,28	119,50
N° de GOLPES	22	24	27	29	31
% HUMEDADES	20,07	19,50	19,03	18,44	17,44

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

N° DE TARA	1	2
PESO DE CAPSULA (Grs)	64,1	65,1
CAP + S. HUM (Grs)	74,83	75,90
CAP +S. SECO (Grs)	73,51	74,45
% HUMEDADES	14,03	14,49



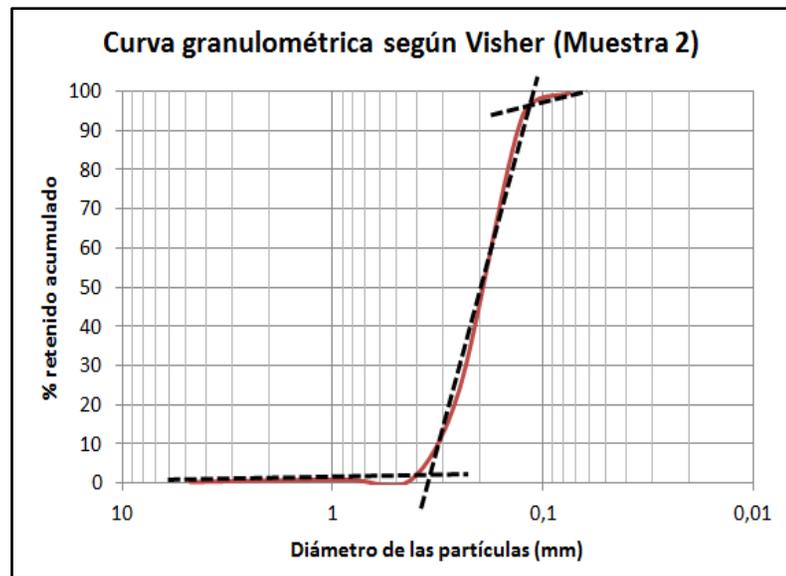
Limite Liquido	19
Limite Plástico	14
Índice de Plasticidad	5

C.2 Estimación de límite líquido y límite plástico de la muestra 5.

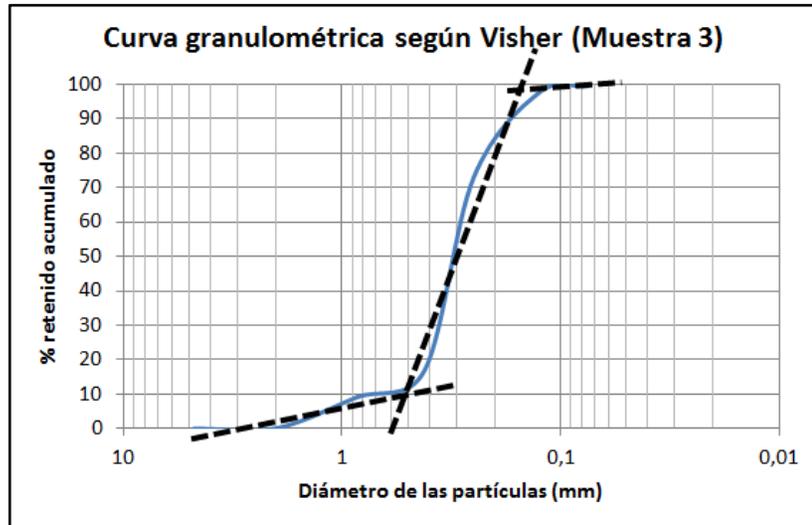
APÉNDICE D
CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE VISHER



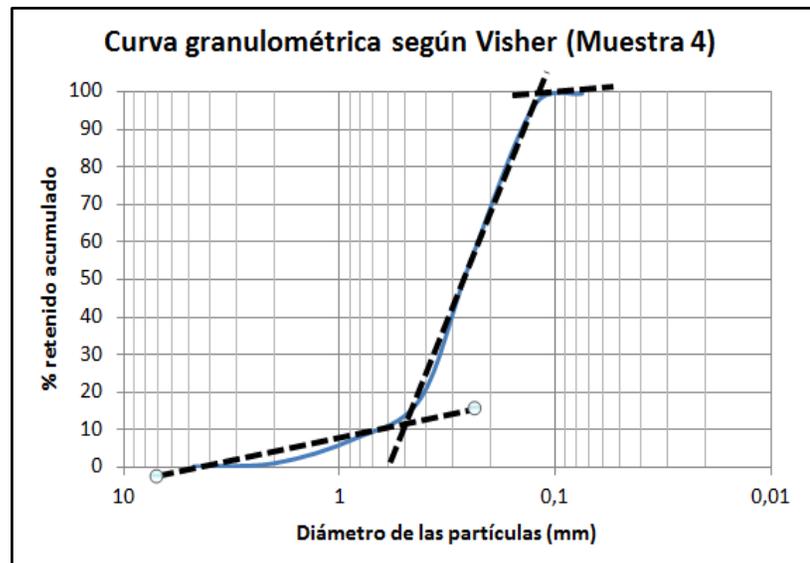
D.1 Curva granulométrica según Visher. Muestra 1



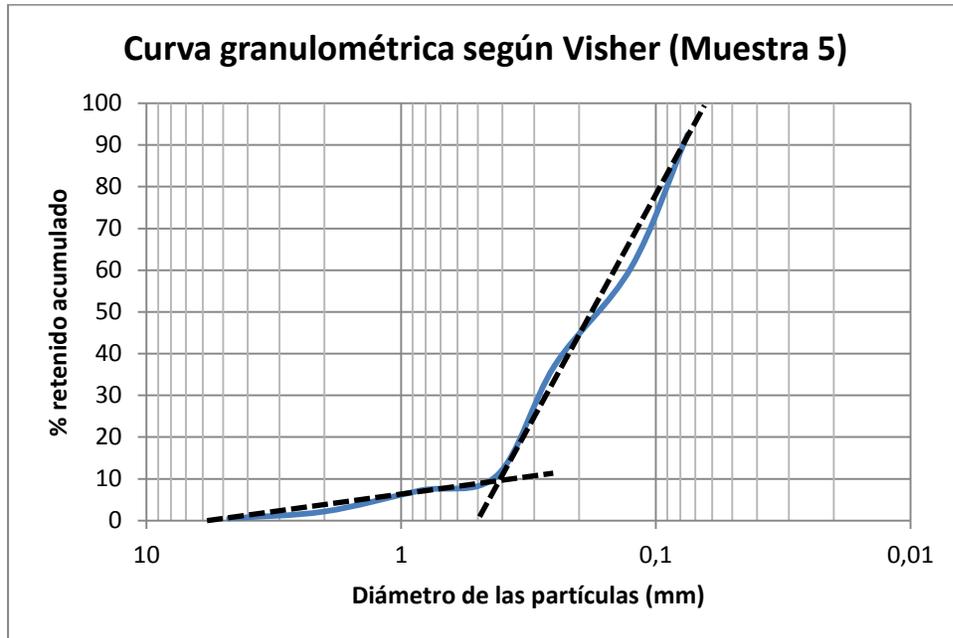
D.2 Curva granulométrica según Visher. Muestra 2.



D.3 Curva granulométrica según Visher. Muestra 3.



D.4 Curva granulométrica según Visher. Muestra 4.



D.5 Curva granulométrica según Visher. Muestra 5.

APÉNDICE E
DATOS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES
BATIMÉTRICAS

E.1 Datos de secciones transversales del tramo entre la milla 455 a la milla 457 del plano batimétrico 11-1998.

ST-1		ST-2		ST-3		ST-4		ST-5	
Altura del río NAB: 7,28 m									
Distancia acumulada	Profundidad ref NAB								
(m)	(m)								
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31,1	4,6	41,5	3,4	76,0	1,4	84,6	-0,7	89,7	-0,4
148,1	2,4	126,7	2,4	245,4	0,4	250,8	-1,7	243,4	-0,7
287,7	0,4	241,2	-1,6	420,2	-0,7	422,9	-4,2	405,3	-0,7
426,1	-1,6	381,1	-1,6	586,2	-4,7	595,4	-9,2	570,9	-2,7
553,7	-10,1	515,4	-3,6	764,4	-8,7	774,9	-17,2	739,8	-2,7
687,5	-12,6	608,5	-9,6	943,1	-15,7	948,4	-7,7	914,8	0,4
824,4	-8,1	766,2	-11,6	1119,4	-11,2	1134,1	-4,7	1082,7	1,6
963,4	-9,6	927,6	-3,6	1299,5	-7,2	1312,4	-4,2	1240,4	-3,7
1102,5	-10,6	1088,1	-11,6	1478,4	-3,7	1764,0	0,9	1386,8	-11,7
1238,4	-11,1	1244,2	-12,6	1653,2	-3,7	1847,1	1,4	1542,1	-13,2
1379,0	-11,6	1401,2	-9,6	1819,1	0,4	1945,9	1,9	1699,3	-8,7
1515,6	-12,1	1558,3	-3,1	1987,6	-0,2	2073,0	1,4	1858,1	-9,2
1658,9	-10,6	1721,9	-2,1	2073,5	1,4	2186,1	3,9	2018,4	-5,7
1797,0	-3,6	1879,4	-3,6					2187,3	-2,2
1947,3	0,4	1956,1	0,9					2356,4	-13,7
2095,9	3,4							2468,6	2,8
								2503,9	2,4

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

Título	ESTUDIO MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS MORFOLÓGICOS DE LA MÁRGEN IZQUIERDA DESCENDENTE DEL RÍO ORINOCO ENTRE LAS PROGRESIVAS MILLA 446 Y MILLA 458, ESTADO GUÁRICO, VENEZUELA, OCURRIDOS DURANTE EL PERÍODO 1992 -2021
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
	Blanco Siso, Jorge Luis	CVLAC
e-mail		Jorgebs033@gmail.com
e-mail		
Rodríguez Martínez, Jeorge Luciano	CVLAC	25.493.216
	e-mail	Chalenyconyy@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

q

Erosión de márgenes
Movimiento sedimentos
Movimiento incipiente
Rio Orinoco

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Mecánica de sedimentación	Erosión, depositación y transporte

Resumen (abstract):

El objetivo general de la investigación es “analizar los cambios morfológicos que se han producido en la ribera izquierda descendente entre las progresivas milla 446 y milla 458 del río Orinoco, estado Guárico, Venezuela, ocurridos durante el período 1992 – 2021 producto de la erosión producida por las corrientes fluviales incidentes sobre la mencionada ribera. El trabajo de investigación se enmarcó dentro de las características del nivel de investigación denominada descriptiva aplicando una estrategia o diseño de la investigación documental y de campo. Para la realización de la presente investigación se analizó la geometría de la ribera presentada a través de imágenes de satélite Landsat de la aplicación computarizada *Google Earth*, fotografías aéreas y planos batimétricos del área de estudio propiedad de la CVG – Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco (CVG-GCNO). Asimismo, se determinaron las características morfológicas del lecho del río, mediante la elaboración de secciones transversales que permitió observar las profundidades y construir modelos digitales del lecho. Además se efectuó un análisis del comportamiento hidrodinámico del río, para ello se presentó un hidrograma de niveles del río, correlaciones de caudales, niveles y velocidades de las corrientes utilizando la información de las bases de datos de aforos realizados en el área de estudio por la CVG-GCNO. También se realizó el análisis textural del material del lecho y de las riberas, a través de ensayos granulométricos (según la norma ASTM D422) y ensayos morfoscópicos, los cuales fueron comparados con los resultados de los análisis texturales realizados a los materiales del área de estudio en investigaciones precedentes.. Además se aplicaron los modelos de movimiento incipiente de las partículas de Hjulstrum, y el modelo de Visher para determinar los requerimientos hidrodinámicos de las partículas para ser sometidas a transporte por efecto de las corrientes fluviales. Finalmente, como resultado de la aplicación de la metodología planteada se obtuvieron los siguientes resultados relevantes: los análisis texturales de los sedimentos del lecho y riberas del río Orinoco en el área de estudio arrojó como resultado que se trata de arenas mal gradadas (SP) y que las partículas presentes son predominantemente subredondeadas y subangulosas. Asimismo, el método de Visher permitió determinar que el mecanismo de transporte predominante es el de saltación. Finalmente, estos procesos han coadyuvado en la erosión continuada de la margen izquierda descendente del río en este tramo de acuerdo a las evidencias existentes en la ventana de observación de 1992 al 2021.

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	4.506.408			
	e-mail	Dafnisecheverria2807@gmail.com			
	e-mail				
MONTEVERDE S., FRANCISCO	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	12.192.676			
	e-mail	monteverdefr@gmail.com93			
	e-mail				
ROURA, KATHEOUSKA	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	18.237.898			
	e-mail	Katheuskar@gmail.com			
	e-mail				
	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2022	10	31

Lenguaje Spa _____

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

Archivo(s):

Nombre de archivo
Tesis-.Docq
Estudio variaciones morfológicas de la ribera izquierda entre las progresivas milla 446 y milla 458 del canal del Orinoco durante el período 1992 a 2021, estado Guárico, Venezuela

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

Alcance:

Espacial : Entre milla 446 y milla 458 del canal del Orinoco, estado Guárico, Venezuela

Temporal: Desde 1992 hasta 2021.

Título o Grado asociado con el trabajo: Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Área de Estudio: Arrastre de sedimentos

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

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

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

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

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

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

Cordialmente,

Juan A. Bolaños Curvelo
Secretario

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

JABC/YGC/maruja

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

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

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

Jorge Luis Blanco Siso
C.I.: V-25.036.226

George Luciano Rodríguez Martínez
C.I.: V-25.493.216

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