

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



**CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS
EN EL SECTOR GUASINA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO
DELTA AMACURO, VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR LA BACHILLER
ROMERO G., ANA E.
PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO.**

CIUDAD BOLÍVAR, OCTUBRE DE 2022



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

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: “**CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS EN EL SECTOR GUASINA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA**”, presentado por la bachiller, **ROMERO GARCÍA, ANA EMILIA** de cédula de identidad No: **26.870.651**; como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

Nombre:

Firma:

Prof. Dafnis Echeverría

(Asesor)

Prof. Francisco Monteverde

(Jurado)

Profa. Beatriz Echeverría

(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 Octubre de 2022

DEDICATORIA

A Dios, por la vida. A mis padres, por los sacrificios y esfuerzos hechos por mi, además de la ayuda en cada obstáculo, con consejos, y amor infinito. A mi familia, por preocuparse siempre y brindarme el apoyo necesario durante todo este trayecto recorrido.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, por la vida y los padres que tengo. Gracias a ellos, por tanto amor y apoyo a lo largo de este camino. Gracias papá por compartirme tu sabiduría para solucionar los problemas. Gracias madre por tanto esmero y bondad. Gracias a ambos por cuidarme y ayudarme a llegar hasta aquí. Gracias a mi familia por estar presente cada vez que los necesité. A la Universidad de Oriente, por formarme día a día. A esos profesores que hicieron de las clases una experiencia más que agradable con su manera de enseñar. A los amigos que me dio la universidad, con los cuales me formé y compartí tanto alegrías como malos momentos. A todos, muchas gracias.

RESUMEN

Al este de la población de Barrancas del Orinoco, en el brazo Río Grande del delta del río Orinoco en el estado Delta Amacuro, se encuentra el sector Guasina, nombre que adquiere debido a la toponimia de la isla estable más importante del sector. El objetivo del estudio es analizar las formas del lecho del sector Guasina. Para cumplir con este objetivo se efectuó el reconocimiento de campo, la descripción del relieve de las riberas del área, se recolectaron un total de 6 muestras de sedimentos del centro del río, tomadas con un muestreador prismático integrador. Cabe destacar, que estas muestras de suelos fueron trasladadas a los laboratorios de Hidráulica y mecánica de los fluidos de la Universidad de Oriente, donde se les realizó análisis granulométrico, y análisis morfosκόpico. Se efectuó una revisión de los registros de los parámetros climáticos del área recopilados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). Se revisaron las condiciones del flujo mediante el análisis de los registros de aforos, efectuados por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC), en la sección de aforo más cercana del área de estudio. Se determinó las condiciones de movimiento incipiente de las partículas mediante el modelo de Hjulstrum, se determinó el mecanismo de transporte predominante en el sector por medio del método de Visher. Finalmente se efectuaron modelos digitales del lecho y se trazaron secciones transversales a partir de los planos batimétricos con la finalidad de visualizar las formas del lecho presentes en el área de estudio. Como resultados relevantes se encontró que: de acuerdo a los análisis de distribución granulométrica según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, los sedimentos analizados son arenas mal gradadas (SP). El análisis morfosκόpico determinó que la forma predominante de las partículas integrantes de estos sedimentos, son sub-angulosas y sub-redondeadas, indicando que los sedimentos son retrabajados y estos han sufrido de poco a moderado transporte hasta el lugar de su depositación y que son sedimentos jóvenes. Mientras que el método de transporte utilizado por los sedimentos se produce en promedio: por tracción en 5%, saltación en 80%, y por suspensión en 15%. Asimismo el método de Hjulstrum indicó que los sedimentos predominantes se pondrían en movimiento cuando la velocidad del flujo del río, sea superior a 76 cm/s. Finalmente, se determinó que existe marcada presencia de dunas en toda la extensión del sector que muestran una altura aproximada entre 0.5 m a 3.5 m y una longitud de onda entre 50 m y 150 m aproximadamente. Estas presentan una morfología orientada en dirección Norte – Sur con una dirección de avance Oeste – Este (sentido predominante del flujo).

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE APÉNDICES	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos de la investigación	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Justificación de la investigación.....	6
1.4 Alcance de la investigación	6
1.5 Limitaciones de la investigación	7
CAPÍTULO II. GENERALIDADES	8
2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio	8
2.2 Acceso al área de estudio	9
2.3 Geología del área de estudio	9
2.3.1 Geología regional	9
2.3.2 Geología local.....	11

2.4 Características Climatológicas	12
2.5 Hidrografía y Geomorfología del río Orinoco	16
<u>2.6 Procesos hidrológicos del río Orinoco</u>	<u>18</u>
2.7 Caracterización biótica	19
2.7.1 Fauna.....	19
2.7.2 Flora.....	21
CAPÍTULO III. BASES TEORICAS	25
3.1 Antecedentes o estudios previos.....	25
3.2 Bases teóricas	26
3.2.1 Migración de tributarios y formación de islas	26
3.2.2 Clasificación de las islas fluviales	27
3.2.3 Sedimento	29
3.2.4 Fuente de los sedimentos	29
3.2.5 Clasificación de los sedimentos.....	34
3.2.6 Carga total de sedimentos.....	35
3.2.7 El transporte y la acumulación de sedimentos.....	36
3.2.8 Hidrología fluvial.....	41
3.2.9 Análisis granulométrico por el método del tamizado	42
3.2.10 Forma, redondez y esfericidad.....	43
3.2.11 Método de Visher	46
3.2.12 Estructuras sedimentarias	48
CAPÍTULO IV. METODOLOGIA DE TRABAJO	55
4.1 Tipo de investigación	55
4.2 Diseño de la investigación.....	55
4.3 Población y muestra de la investigación	56
<u>4.3.1 Población de la investigación</u>	<u>56</u>
<u>4.3.2 Muestra de la investigación.....</u>	<u>57</u>
4.5 Flujograma de la investigación.....	59
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos.....	60

4.6.1 Caracterización textural de los materiales del cauce .	60
4.6.2 Descripción de las condiciones del flujo del río y a los caudales.....	63
4.6.3 Caracterización del movimiento de los sedimentos del río	64
4.6.4 Descripción de las formas del lecho del cauce en el sector Guasina.....	64
CAPÍTULO V. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	65
5.1 Caracterización textural de los materiales del cauce presentes en el área de estudio del río Orinoco.....	65
5.1.1 Resultados de análisis de distribución granulométrica.....	66
5.1.2 Resultados del análisis morfoscópico de las partículas	66
5.1.4 Análisis mineralógico	68
5.2 Descripción de las condiciones del flujo del río con base a los niveles de la superficie del agua y a los caudales	69
5.3 Caracterización del movimiento de los sedimentos del río con base a los criterios de Visher y Hjulstrum.....	72
5.3.1 Movimiento según criterio de Hjulstrum.....	73
5.3.3 Movimiento de los sedimentos según criterio de Visher.....	76
5.4 Descripción de las formas del lecho del cauce en el sector Guasina	77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
Conclusiones	79
Recomendaciones.....	80
REFERENCIAS	82
APÉNDICES	88

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación relativa del sector Guasina.....	8
3.1 Clasificación de las islas según la posición del canal.....	29
3.2 Diagrama de Hjulstrum.....	37
3.3 Tipo de transporte en función de la granulometría.....	38
3.4 Mecanismo de transporte.....	39
3.5 Flujo de corriente a través de las capas de arena, limo y arcilla.....	42
3.6 Medición de rodados y la posición de los ejes mayores.....	44
3.7 Forma y redondez de los granos.....	46
3.8 Curva de frecuencia acumulada.....	47
3.9 Curvas de frecuencia acumulada de arenas de playa.....	48
3.10 Clasificación de estructuras sedimentarias.....	49
3.11 Morfología asociada a la estratificación oblicua.....	50
3.12 Diferentes tipos de laminaciones.....	51
3.13 Relación geométrica entre las láminas arenosas y de superficie.....	53
3.14 Estructura de corriente en función de la granulometría.....	54
4.1 Flujograma de investigación.....	60
5.1 Análisis morfoscópicos de las muestras de suelos.....	69
5.2 Hidrograma de niveles máximos y mínimos promedio mensuales.....	71
5.3 Correlación entre caudal, nivel y velocidad de la corriente.....	73
5.4 Modelo de Hjulstrum.....	74
5.5 Modelo de Van Rijn.....	77

LISTA DE TABLAS

	Página
2.1	Parámetros climatológicos promedio mensuales.....
2.2	Tamaño de las especies arbóreas presentes.....
3.1	Clasificación según el tamaño de las partículas de Wentworth.....
5.1	Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de suelos.....
5.2	Resultados de los análisis morfoscópicos de las partículas.....
5.3	Contenido mineralógico en porcentaje de las muestras de suelos.....
5.4	Niveles máximos y mínimos promedios mensuales del río Orinoco.....
5.5	Velocidad del río Orinoco en la sección de aforo Guasina Sur.....
5.6	Datos de la sección de aforo Guasina Sur.....
5.7	Velocidades límite para que se produzca los estados de movimiento.....
5.8	Valores de θ_{cr} y del d_{50}
5.9	Fracciones porcentuales que se movilizan según Visher.....
5.10	Levantamientos batimétricos utilizados.....

LISTA DE APÉNDICES

A ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

- A.1 Curva de distribución granulométrica de la muestra 1
- A.2 Curva de distribución granulométrica de la muestra 2
- A.3 Curva de distribución granulométrica de la muestra 3
- A.4 Curva de distribución granulométrica de la muestra 4
- A.5 Curva de distribución granulométrica de la muestra 5

B ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LAS MUESTRAS DE SUELOS

- B.1 Análisis mineralógico de la muestra 1
- B.2 Análisis mineralógico de la muestra 2
- B.3 Análisis mineralógico de la muestra 3
- B.4 Análisis mineralógico de la muestra 4
- B.5 Análisis mineralógico de la muestra 5

C FOTOGRAFÍAS DE ANÁLISIS MINERALÓGICOS

- C.1 Fotografía de análisis mineralógico (circón, cuarzo, hornblenda)
- C.2 Fotografía de análisis mineralógico (estauroлита)
- C.3 Fotografía de análisis mineralógico (granate)
- C.4 Fotografía de análisis mineralógico (circón, granate)
- C.5 Fotografía de análisis mineralógico (clorita)
- C.6 Fotografía de análisis mineralógico (andalucita)
- C.7 Fotografía de análisis mineralógico (circón, epidoto)
- C.8 Fotografía de análisis mineralógico (apatito)
- C.9 Fotografía de análisis mineralógico (hornblenda)

D CURVAS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA SEGÚN VISHER

- D.1 Curva granulométrica según Visher de la muestra 1
- D.2 Curva granulométrica según Visher de la muestra 2
- D.3 Curva granulométrica según Visher de la muestra 3
- D.4 Curva granulométrica según Visher de la muestra 4
- D.5 Curva granulométrica según Visher de la muestra 5

E MODELOS TRIDIMENSIONALES DEL LECHO DEL CAUCE

- E.1 Modelo tridimensional del lecho de Guasina (07/05/2011)
- E.2 Modelo tridimensional del lecho de Guasina (07/10/2011)
- E.3 Modelo tridimensional del lecho de Guasina (03/09/2012)
- E.4 Modelo tridimensional del lecho de Guasina (25/10/2012)

F SECCIONES TRANSVERSALES DEL LECHO

- F.1 Sección transversal A-A' del plano del 07/05/2011
- F.2 Sección transversal B-B' del plano del 07/05/2011

- F.3 Sección transversal C-C' del plano del 07/05/2011
- F.4 Sección transversal D-D' del plano del 07/05/2011
- F.5 Sección transversal A-A' del plano del 07/010/2011
- F.6 Sección transversal B-B' del plano del 07/10/2011
- F.7 Sección transversal C-C' del plano del 07/10/2011
- F.8 Sección transversal D-D' del plano del 07/10/2011
- F.9 Sección transversal A-A' del plano del 03/09/2012
- F.10 Sección transversal B-B' del plano del 03/09/2012
- F.11 Sección transversal C-C' del plano del 03/09/2012
- F.12 Sección transversal D-D' del plano del 07/09/2012
- F.13 Sección transversal A-A' del plano del 25/10/2012
- F.14 Sección transversal B-B' del plano del 25/10/2012
- F.15 Sección transversal C-C' del plano del 25/10/2012
- F.16 Sección transversal D-D' del plano del 25/10/2012

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación consiste en el análisis de las formas del lecho fluvial presentes en el sector Guasina del brazo Río Grande del delta del río Orinoco ubicado en el estado Delta Amacuro.

El sector Guasina es transitado diariamente por los buques que entran al río Orinoco provenientes de otros países. Sin embargo, para mantener este sector en condiciones navegables, debe ser sometido a operaciones de dragado de mantenimiento por parte del gobierno venezolano. Estas operaciones de dragado se hacen necesarias debido a la necesidad de mantener navegables las profundidades en dicho sector; las cuales sufren la depositación de grandes cantidades de sedimentos. Por otro lado, estos sedimentos durante su movilización a través del río, adquieren o asumen morfologías en el lecho que es necesario conocer para programar adecuadamente las operaciones de dragado.

Para la ejecución de este trabajo fue necesario recurrir a informaciones bibliográficas, folletos, reportes, revistas, etc. y a personas idóneas en el campo de la Geología, quienes con espíritu de cooperación mostraron su mayor interés en esbozar sus conocimientos sobre esta rama que nos ocupa.

La culminación de este análisis permitirá obtener una información más detallada de este sector en cuanto a la morfología del lecho y el movimiento de los sedimentos en él.

Esta investigación se estructura en cinco (5) capítulos; en el primero se plantea la situación del estudio, objetivos general y específicos, alcances y limitaciones. En el

segundo capítulo se encuentran los rasgos generales del área de estudio, su ubicación geográfica, geología regional, climatología, hidrografía y regímenes de corriente del río Orinoco. El tercer capítulo muestra los antecedentes de estudio en la zona y conceptos teóricos y prácticos que enriquecen el contenido del trabajo. El cuarto capítulo trata sobre la metodología donde se describe el tipo de investigación, su diseño, la población y muestra de la investigación, el flujograma y el procedimiento para el logro de los objetivos. En el quinto capítulo se presentan los resultados de la investigación y por último se muestran las conclusiones y recomendaciones relevantes de la investigación.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

La mayoría de los ríos en el mundo, en su dinámica diaria, transportan agua y sedimentos. La naturaleza cualitativa y cuantitativa de ese transporte de sedimentos dependerá del caudal y velocidad del flujo y de la naturaleza de los sedimentos (distribución granulométrica y forma de los granos).

Las condiciones del flujo de los ríos son estacionales, en la zona templada variarán de acuerdo a la magnitud de los deshielos y de las sequías en el verano, mientras que en la zona intertropical variarán de acuerdo a la magnitud de las precipitaciones en la época de lluvias y a la magnitud de las sequías en la época respectiva. De allí pues, que el transporte de sedimentos responderá, en gran medida, a la magnitud del flujo.

En Venezuela, todos los ríos y quebradas, responden al ciclo climático tropical de época de lluvias y época de sequías; incrementando o disminuyendo los niveles, caudal y velocidad del flujo respectivamente.

El río Orinoco no es una excepción al comportamiento descrito, y siendo el más caudaloso de nuestro país, transporta una ingente cantidad de sedimentos anualmente. Algunos estudios tasan este transporte de sedimentos en más de 400 millones de metros cúbicos. Sin embargo, se debe acotar que las cuatro (4) etapas del ciclo hidrológico del río se caracterizan por una hidrodinámica sedimentaria muy diferente. Es decir, en la etapa de estiaje el río tiene la menor capacidad de transporte de sedimentos; luego, en la etapa de aguas medias ascendentes, el río adquiere energía

incrementalmente y por ende también va aumentando su capacidad de transporte. Hasta alcanzar las aguas máximas durante los meses de junio, julio y agosto, que se corresponde con el período de mayor transporte de sedimentos. Posteriormente, los niveles del río iniciarán su descenso, lo cual se conoce como aguas medias descendentes (durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre), la cual es una fase en la cual el río Orinoco muestra una mayor tendencia a la sedimentación o depositación de los materiales. Esta etapa, concluye con el máximo descenso en el período de aguas bajas, cuando ocurre el estiaje o momento de mínimo nivel del flujo.

Entre los factores que inciden en la depositación o erosión de los materiales en un sector determinado, se encuentra la morfología del mismo. Así pues, cada sector posee características muy particulares de erosionar o sedimentar. El sector Guasina presenta entre sus particularidades una morfología del cauce muy variable que inquieta y preocupa a los entes que efectúan el dragado de mantenimiento del río Orinoco para lograr alcanzar las profundidades navegables adecuadas. Los operadores de las actividades de dragado (capitanes de dragas, pilotos, técnicos dragadores e hidrógrafos) se quejan constantemente de las irregularidades del fondo y de que el fondo pareciera comportarse como un ente vivo que cambia constantemente.

Tal situación plantea la necesidad de analizar las formas del lecho fluvial en el sector Guasina con la finalidad de darle explicación a la percepción de los técnicos y operarios mencionados a través del conocimiento integral de la morfología del lecho del sector.

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

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

¿Cuáles son las condiciones del flujo del río Orinoco en el sector Guasina?

¿Cómo se produce el movimiento de los sedimentos del sector Guasina?

¿Cuáles son las formas del lecho presentes en el sector Guasina del río Orinoco?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Analizar las formas del lecho fluvial presentes en el sector Guasina del brazo Río Grande del delta del río Orinoco, estado Delta Amacuro, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar texturalmente los materiales del cauce presentes en el área de estudio del río Orinoco.
2. Describir las condiciones del flujo del río con base a los niveles de la superficie del agua y a los caudales registrados por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC)
3. Caracterizar el movimiento de los sedimentos del río con base a los criterios de Visher y Hjulstrum como factores constructores de la morfología del cauce.

4. Describir las formas del lecho presentes en el lecho del cauce del sector Guasina del río Orinoco.

1.3 Justificación de la investigación

El río Orinoco en el sector Guasina tiene una gran importancia toda vez que a través de él cruzan el río buques de gran calado que entran desde el exterior hasta Ciudad Guayana. Dicho sector, debe ser dragado por el ente gubernamental encargado de la administración y mantenimiento. Por otra parte, este sector se encuentra inmediatamente aguas abajo de la ubicación donde actualmente se construye el tercer puente sobre de todas las vías fluviales del país. 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 del río en el mediano y largo plazo y planificar con éxito acciones ingenieriles (dragado) 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, de las condiciones del flujo del agua en el sector Guasina 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 formas del lecho del cauce del río en el área de estudio para posteriormente, describir y analizar su incidencia en el mantenimiento de ese sector del canal del río Orinoco

1.5 Limitaciones de la investigación

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

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio

El área de estudio se conoce como el sector Guasina y está comprendido entre las millas 98 y 107 de la vía fluvial del Orinoco. Esta zona comprende un tramo del río situado al norte de la isla “Paloma” y la curva de la “Vuelta al Diablo”, limitado en su extremo occidental por las islas “Santa Elena” y “Guasina”, y en su extremo o sur por el “Brazo Imataca”. Se ubica por las coordenadas geográficas $61^{\circ}38' - 61^{\circ}39'$ de longitud Oeste y $8^{\circ}34' - 8^{\circ}32'$ de latitud Norte (I.N.C, 1997).

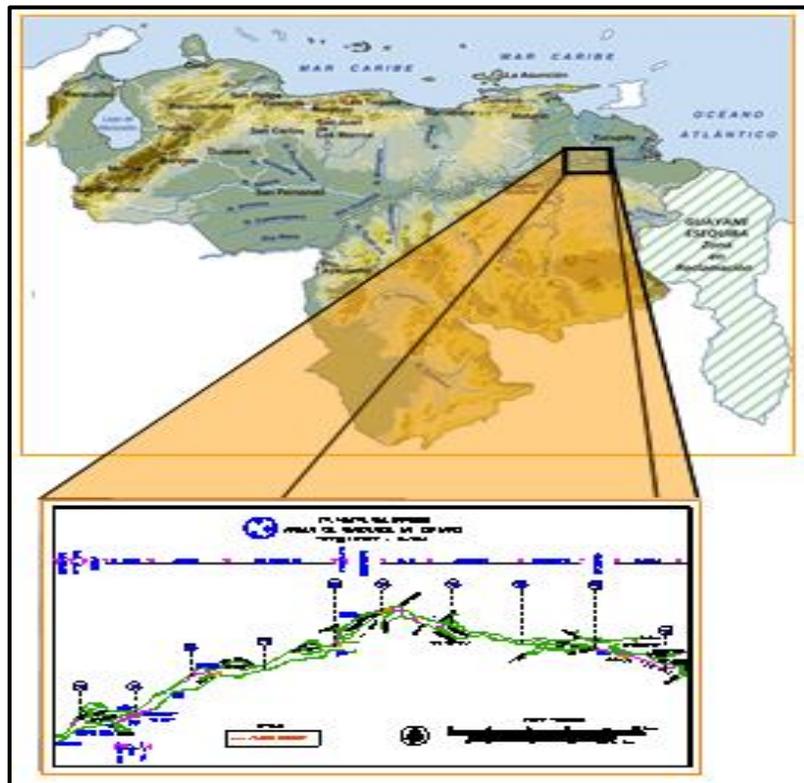


Figura 2.1 Ubicación relativa del sector Guasina del río Orinoco.

2.2 Acceso al área de estudio

Se puede llegar al área de estudio, desde la población de Barrancas del Orinoco, ubicada en las riberas del río Orinoco, al sur del estado Monagas, y luego a través de vía acuática desde este puerto fluvial, por el citado río a 90 kilómetros aproximadamente al este de esa población.

2.3 Geología del área de estudio

2.3.1 Geología regional

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

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

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

2.3.1.1 Complejo de Imataca

Es una unidad rocosa, perteneciente al Precámbrico conformada principalmente por gneises graníticos, gneises anfibolíticos, migmatitas, charnockitas y en menor

proporción cuarcitas ferruginosas. El grado metamórfico es alto (sub-facies de la granulita piroxénica (C.V.G, 1977).

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

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

2.3.1.2 Formación Mesa

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

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

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

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

Basándose en estudios realizados tanto en observaciones superficiales como en perforaciones la Formación Mesa sufre una gradación de más gruesos a más finos al alojarse en las cadenas montañosas del norte hacia el sur, y una gradación contraria, es decir, de más fino a más gruesos, desde la región central de Monagas, también hacia el sur al acercarse al Macizo de Guayana (C.V.G. 1977).

2.3.1.3 Depósitos aluviales recientes

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

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

2.3.2 Geología local

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

El material del lecho recolectado en el sector Guasina presenta gran variedad de contenido mineralógico (Cuarzo, Círcón, Estauroлита, Hornblenda, Granate, Andalucita, etc.), lo que permite inferir que los materiales depositados en la zona de estudio son producto en gran medida de la desintegración de las rocas del Escudo Guayanés con un bajo porcentaje de posibilidades de que provengan de las formaciones de carácter sedimentario (Formación Mesa) propio de los llanos venezolanos erosionados de la ribera norte del río Orinoco y acarreados por este hasta la confluencia de ambos ríos.

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

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

2.4 Características Climatológicas

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

La precipitación alcanzada a lo largo del canal es de unos 1205,3 mm (Tabla 2.1).

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

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

En general el clima es muy predecible y sólo se observan dos estaciones; una estación seca con una duración de 3 o 4 meses (desde Mayo hasta Septiembre) y una estación lluviosa de 8 a 9 meses comprendidas entre Diciembre y Abril (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Parámetros climatológicos promedios mensuales, período 1999-2012, estación Meteorológica Caroní – Macagua (CVG Edelca, 2012).

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

Tabla 2.1 (continuación) Parámetros climatológicos promedios mensuales, período 1999-2002, estación Meteorológica Caroní – Macagua (CVG Edelca, 2012).

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

2.5 Hidrografía y Geomorfología del río Orinoco

El río Orinoco en el tramo de interés desarrolla su cauce sobre el borde del Escudo Guayanés, formado por rocas cristalinas de edad precámbrico y limitado por su margen izquierda por aluviones y sedimentos recientes de los Llanos de Venezuela, representa un tramo de 640 km. Situado entre El Jobal, en las inmediaciones de las confluencias del río Suapure, con el río Orinoco y Matanzas en su confluencia con el río Caroní, abarca una extensión comprendida en lo que se ha identificado como el Medio y Bajo Orinoco cuya sección entre los estados Apure y Guárico se conoce geográficamente como el Arco 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 (CVG Tecmin, C.A., 2002).

El río Orinoco posee una cuenca hidrográfica que abarca un área de aproximadamente 990000 km² de los cuales 640000 km² están en territorio

venezolano y 350000 km² en territorio colombiano, su longitud es de 2063 km con su nacimiento en el macizo de Guayana y el límite con Brasil en el cerro Delgado Chalbaud, a una altura de 1042 m, sus cabeceras fueron descubiertas 4 siglos y medio después de su desembocadura. El río Orinoco puede dividirse en 4 tramos fluviales: alto Orinoco, que se extiende desde la cabecera en dirección aproximada Este – Oeste hasta el raudal Los Guaharibos en San Fernando de Atabapo; El Orinoco medio, orientado hacia el Norte hasta la desembocadura del río Apure y comprendido desde el raudal de los Guaharibos y el raudal de Atures; El bajo Orinoco, que se dirige francamente al Este, desde el raudal Ature, al Sur de Puerto Ayacucho, hasta el Atlántico donde se abre en un majestuoso abanico Deltaico; Y el Delta del río Orinoco formado a partir de la formación de barranca.

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

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

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

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

2.6 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.

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 paleo-cauces o paleocanales, diques naturales y bancos colonizados por vegetación, lagunas y humedades permanentes y estacionales y depósitos de polvos y arena de origen eólico (Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V. 1998).

2.7 Caracterización biótica

2.7.1 Fauna

2.7.1.1 Fauna silvestre

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

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

Pteronura brasiliensis (El Perro de Agua).

Trichechus Manatus (El Manatí).

Podocnemis Expansa (La Tortura Arrau).

Crocodylus Intermedi (El Caimán del Orinoco).

Lutra longicaudi (El Perro de Agua Pequeño).

Según el MARNR entre las especies vulnerables podemos citar:

Priodontes Maximus (El Cuspón).

Felis Pardalis (El Cunaguaro).

Felis wiedii (El Tigrito).

Pantera Onca (El Jaguar).

Myrmecophaga Tridactyla (El Oso Hormiguero).

Cacajao Melanocephalus (El Mono Chucuto).

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

En cuanto a las especies vulnerables, podemos citar:

Pipilipe Pipilipe (La Paja Voladora).

Arpia Harpija (El Águila Arpía).

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

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

2.7.1.2 Fauna íctica

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

Se estima alrededor de 500 especies, la mayoría de ellas realizan movimientos migratorios para diversos fines, tales como reproducción, alimentación entre otros.

Como ejemplos podemos citar: *Semaprochilodus Laticeps* (La Zapoara), *Prochilodus Mariae* (El Coporo), *Piaracutus Brachypomun*, y otros que conforman grandes cardúmenes, los cuales se desplazan superficialmente, generando importantes pesquerías a lo largo de su movimiento desde las zonas superior y media del delta.

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

2.7.2 Flora

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

2.7.2.1 Asociación de bosques en paisaje de planicie

Las comunidades arbóreas allí establecidas presentan de inundación estacional, determinado por los períodos de crecidas de los ríos Orinoco y Caroní. En cuanto a su estructura presentan una altura media a baja con tres verticales mayor de 2 m (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Tamaño de las especies arbóreas presentes en el área de estudio (C.V.G. Técnica Minera, 1989).

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

2.7.2.2 Asociación de bosques y herbazales en paisaje de planicie deltáica de origen fluvial

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

Las especies herbáceas dominantes de esta comunidad es Montrichardia Arborescens y como acompañantes se tiene: Cyperus Papyrus, Blechnum Serrulatum, Hydrocotyle Umbellata, Rhynchospora Gigantea, Scleria Stipularis, Sagitaria Guyanensis; se observan algunos arbustos dispersos de Ludwigia Neruosa y L.

Leptocarpa, a su vez algunas trepadoras como Merranmia Macrocalyx y Mikania Micrantha.

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

Las especies arbóreas más abundantes y frecuentes son:

Erythrina sp. (Bucare de agua)

Cecropia Peltata (Cecropia)

Spondias Mombin (Jobo)

Codia Fallax (Alatrique)

Inga Vera (Guamo)

Tabebuia sp. (Apamate)

Couropita Guianensis (Coco de mono)

Crescentia sp. (Tapara)

Mauritia sp (Palma Moriche)

Ocotea sp. (Laurel)

Ceiba Pentandra (Ceiba)

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

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes o estudios previos

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

Consultora Caura, (1994), realizaron el trabajo de investigación titulado “ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL DRAGADO DE MANTENIMIENTO DEL RÍO ORINOCO. TRAMO MATANZAS-BOCA GRANDE”, en dicho trabajo se presenta una revisión exhaustiva de las características físicas de los sectores del río incluidos en el tramo Matanzas – Boca Grande, entre dichos parámetros se puede mencionar la flora, la fauna, la geología, el clima, entre otras. Dichos datos permitirán caracterizar físicamente al sector Guasina, el cual es el área de estudio de la actual investigación.

Jiménez, L. y Malpica, F. (2003), elaboraron como tesis de grado la investigación titulada “EVALUACION DE LAS AREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVA EN LOS SECTORES, GUARGUAPO, YAYA Y GUASINA DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO”. Dicho trabajo tenía como objetivo general evaluar volumétricamente la capacidad disponible en las áreas de descarga de los sectores antes citados. Por otra parte, se debía proponer nuevas opciones de zonas de descarga. Este trabajo también servirá para complementar la investigación que nos ocupa ya que trata aspectos inherentes al comportamiento hidráulico del río Orinoco en ese sector.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 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 aguas 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).

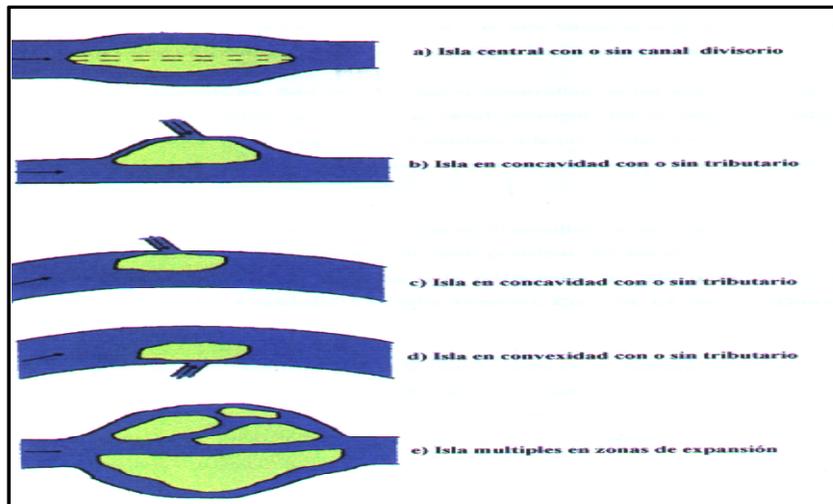


Figura 3.1 Clasificación de las islas según la posición en el canal fluvial (Miall, A., 1981).

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 esorrentía 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 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

3.3.5.1 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 (Hjulstrum, 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 Hjulstrum, (1935) presentó 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).

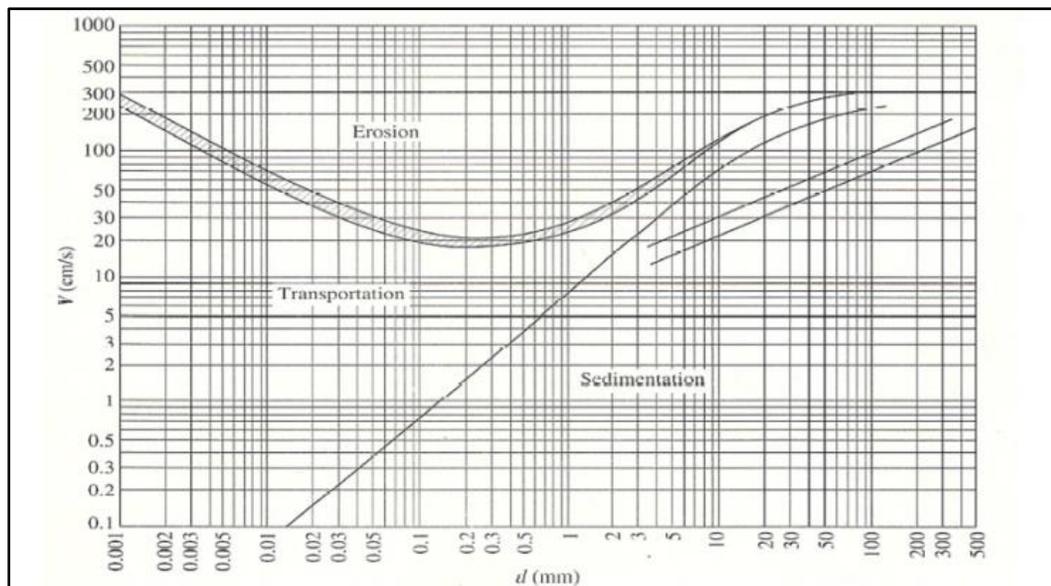


Figura 3.2 Diagrama de Hjulstrum (1935).

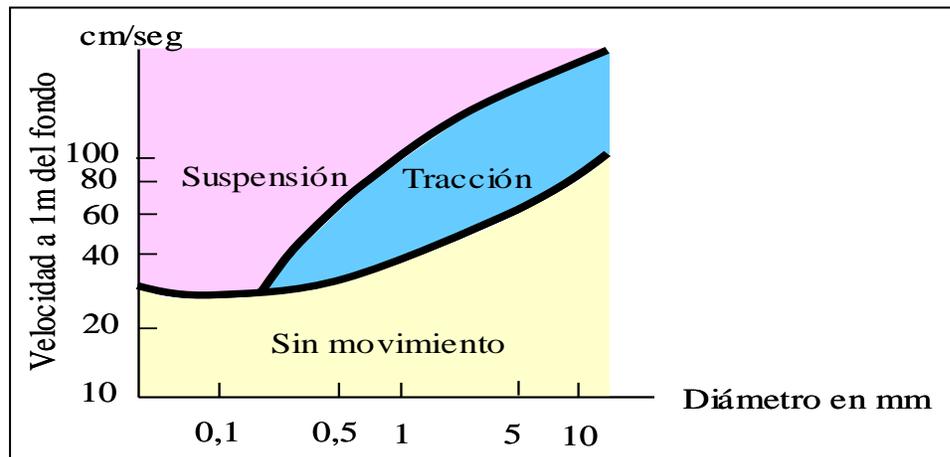


Figura 3.3 Mecanismos de transporte, tipo de transporte en función de la granulometría. Nótese que los sedimentos menores de 0,1 mm no serán transportados más que por suspensión según Miall, A., (1981).

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., 1981).

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).

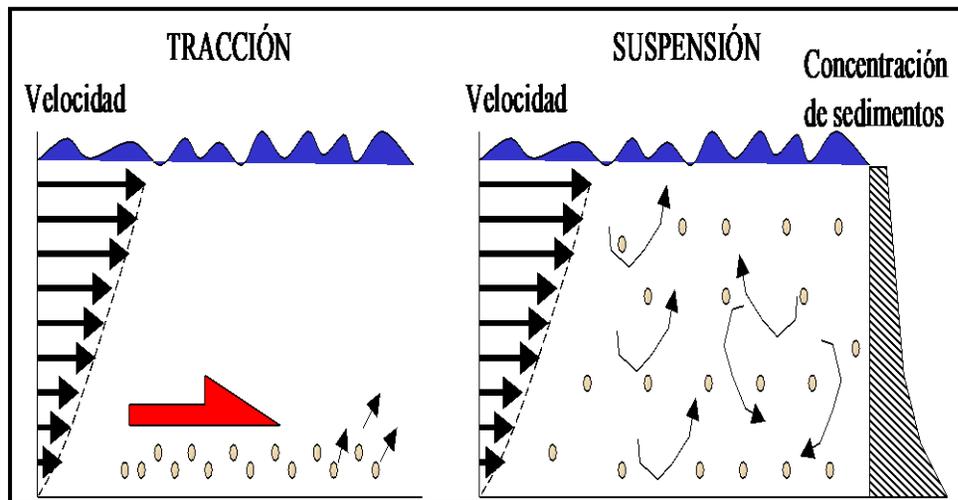


Figura 3.4 Mecanismos de transporte (Mall, A., 1981).

3.2.7.1 Iniciación del movimiento de las partículas en corriente

El movimiento de las partículas ocurre cuando la fuerza del fluido sobre una partícula está justamente a lo largo de la fuerza de fricción la cual está directamente relacionada al peso de las partículas sumergidas y al coeficiente de fricción. Las fuerzas cohesivas son importantes cuando el lecho contiene una apreciable cantidad de partículas de limos y arcillas.

Los resultados experimentales de Shields (1936) relacionados con la superficie del lecho son más ampliamente usados para representar las condiciones críticas de la iniciación del movimiento.

La curva de Shields puede ser expresada en términos de parámetros de movilidad dimensionales θ_{cr} y en diámetro de partículas dimensionales D^* . En este punto, el diámetro medio de la partícula (d_{50}) es usado como el diámetro de la partícula característico en el caso de un sedimento no uniforme (Figura 5.1).

$$\theta_{cr} = \tau_{b,cr} / [(\rho_s - \rho)gd_{50}] \quad (3.1)$$

$$D^* = [(s-1)g/v^2]^{1/3} d_{50} \quad (3.2)$$

Donde:

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

ρ = densidad del fluido (980 kgf/m³)

ρ_s = densidad del material (2650 kgf/m³)

s = densidad relativa = ρ_s / ρ

v = velocidad

El factor θ_{cr} depende de las condiciones hidráulicas cerca del lecho y de la forma y posición de las partículas en relación a otras partículas. Las condiciones hidráulicas del lecho pueden ser expresadas por el número de Reynolds $Re^* = U^* d / v$, el cual sirve para determinar si el flujo es laminar o turbulento.

Si $Re^* \leq 5$, el flujo es laminar, si está en el rango de $5 \leq Re^* \leq 70$ el flujo está en un estado de transición de laminar a turbulento, mientras que si $Re^* \geq 70$ el flujo es completamente turbulento. Muchos experimentos han sido efectuados para determinar θ_{cr} como función Re^* .

La complejidad de la definición del esfuerzo cortante crítico a partir de la iniciación del movimiento es mayormente causado por el carácter estocástico de la

fuerza del fluido dirigida, la fuerza de resistencia estabilizante y por la falta de una definición de la iniciación del movimiento (Van Rijn, 1990)

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



Figura 3.5 Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla mostrando su medio de transporte (Modificado de Hjulstrum, 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 Wentworth (Pettijohn, 1949).

	CLASTO	SEDIMENTO	mm	SEDIMENTITA ó ROCA SEDIMENTARIA			
PSEFITA	Bloque	Aglomerado	<i>Aglomerado (Grava de bloques)</i>	<i>Aglomerado (Conglomerado de bloques)</i>			
	Guijón	Grava	<i>Gruesa</i>	<i>Grueso</i>			
	Guijarro		<i>Mediana</i>	<i>Mediano</i>			
	Guija		<i>Fina</i>	<i>Fino</i>			
PSAMITA	Grano	Arena	<i>Muy gruesa</i>	<i>Muy gruesa</i>			
			<i>Gruesa</i>	<i>Gruesa</i>			
			<i>Mediana</i>	<i>Mediana</i>			
			<i>Fina</i>	<i>Fina</i>			
			<i>Muy fina</i>	<i>Muy fina</i>			
			PELITA	Partícula	Limo	<i>Grueso</i>	<i>Grueso</i>
						<i>Mediano</i>	<i>Mediano</i>
PELITA	Partícula	Limo	<i>Fino</i>	<i>Fino</i>			
			<i>Muy fino</i>	<i>Muy fino</i>			
			Arcilla	<i>Gruesa</i>	<i>Gruesa</i>		
				<i>Mediana</i>	<i>Mediana</i>		
				<i>Fina</i>	<i>Fina</i>		
		Arcillita	<i>Muy fina</i>	<i>Muy fina</i>			

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 3.6)

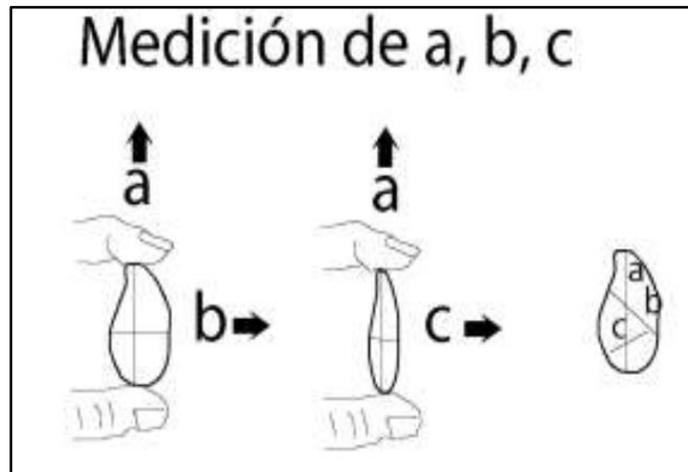


Figura 3.6 Medición de rodados y la posición de los ejes mayor (a), intermedio (b) y menor (c) (Krumbein, 1941 en Pettijohn, 1949).

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.

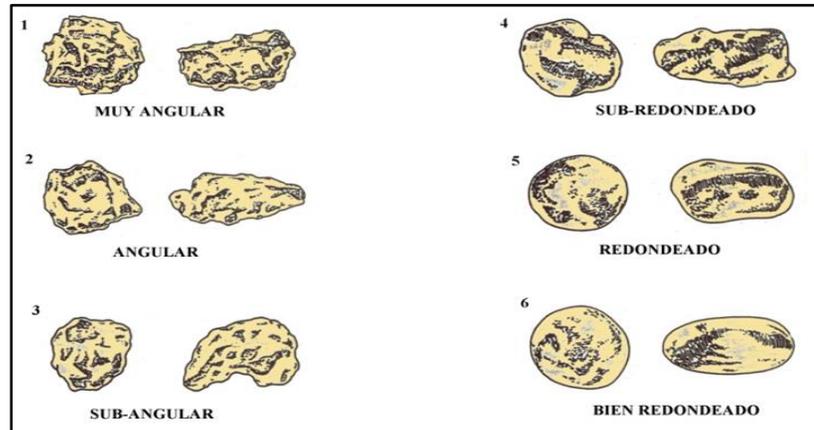


Figura 3.7 Forma y redondez de los granos (Modificado Redrawn, 1953 en Silva, 2003).

3.2.10.3 Esfericidad

Se define como el grado en que un elemento clástico se aproxima en su forma a una esfera (Pettijohn, 1949), 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 3.8 y 3.9).

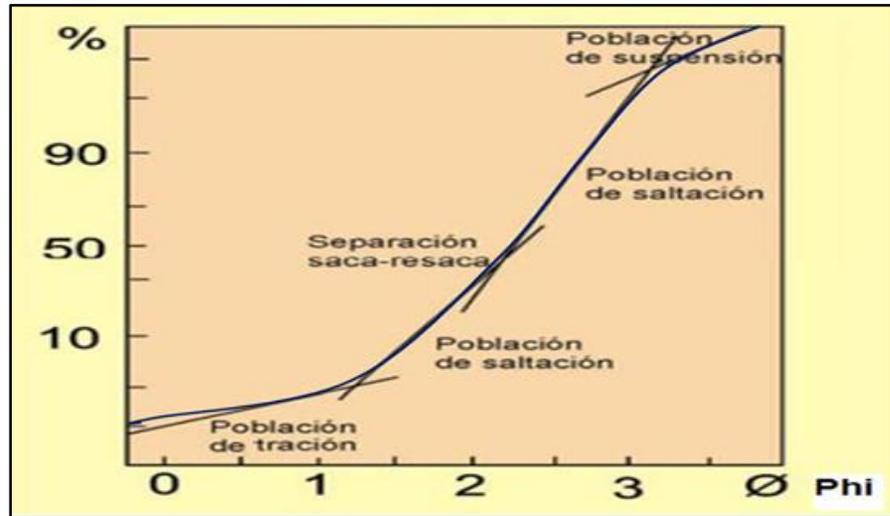


Figura 3.8 Curva de frecuencia acumulada con las poblaciones asociadas al mecanismo de transporte (modificado de Spalleti, 2007).

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:

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

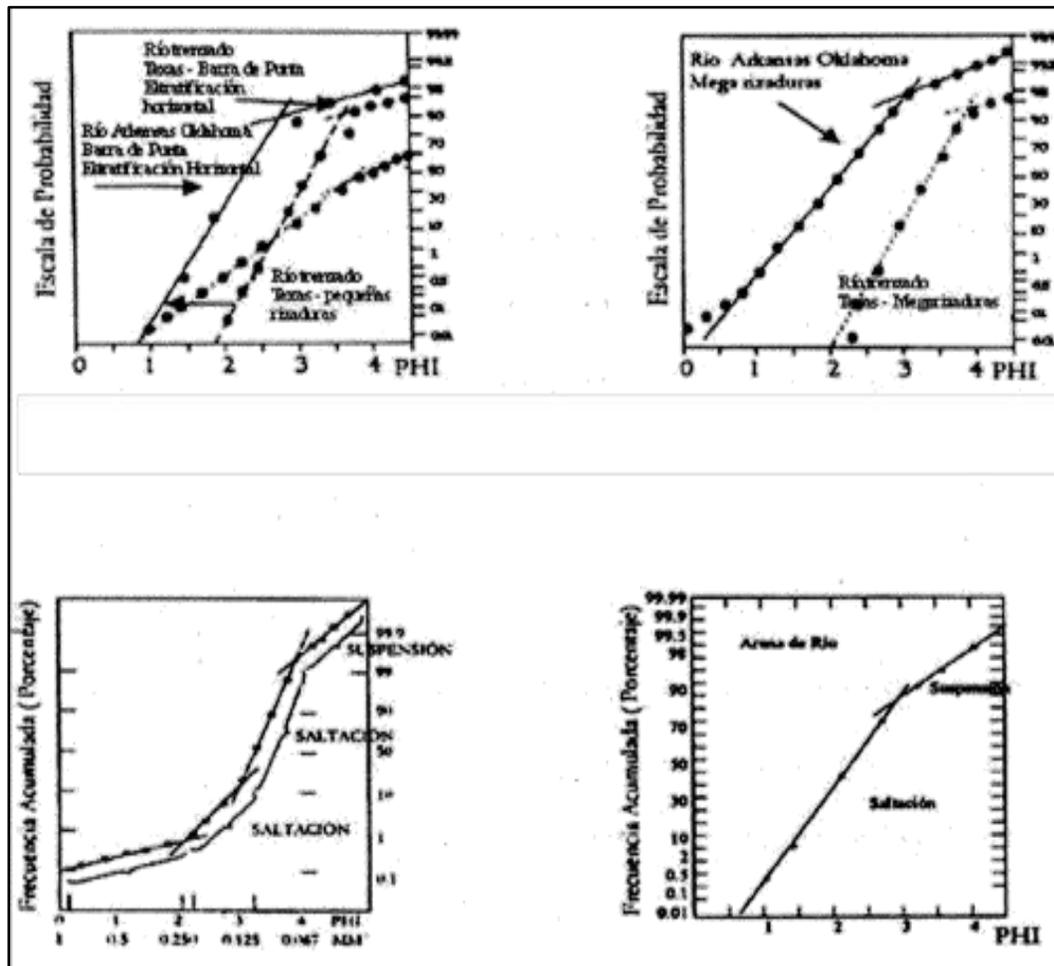


Figura 3.9 Curvas de frecuencia acumulada de arenas de playa (Modificado de Visher, 1969).

3.2.12 Estructuras sedimentarias

Una estructura sedimentaria se podría definir como “una cierta disposición geométrica de los elementos que constituyen un sedimento”. Esta disposición es una consecuencia de los agentes geológicos y de los procesos físicos, aunque intervienen así mismo los de tipo químico y biológico (Figura 3.10).



Figura 3.10 Clasificación de las estructuras sedimentarias según Allen (1987).

Debido a la gran variedad de estructuras sedimentarias se utilizó la clasificación propuesta por Allen (1987), la cual los agrupa según los procesos físicos que actúan para que estas se formen, tales como:

3.2.12.1 Laminación de rizaduras.

En un ambiente poco energético, con corrientes relativamente débiles, dominan las estructuras del tipo rizadura. Estas se manifiestan por una estratificación oblicua a pequeña escala (Corrales, J., 1977).

La altura de las rizaduras puede evaluarse midiendo el espesor de los grupos individuales (“sets”) de láminas oblicuas (Figura 3.11) (Corrales, J., 1977).

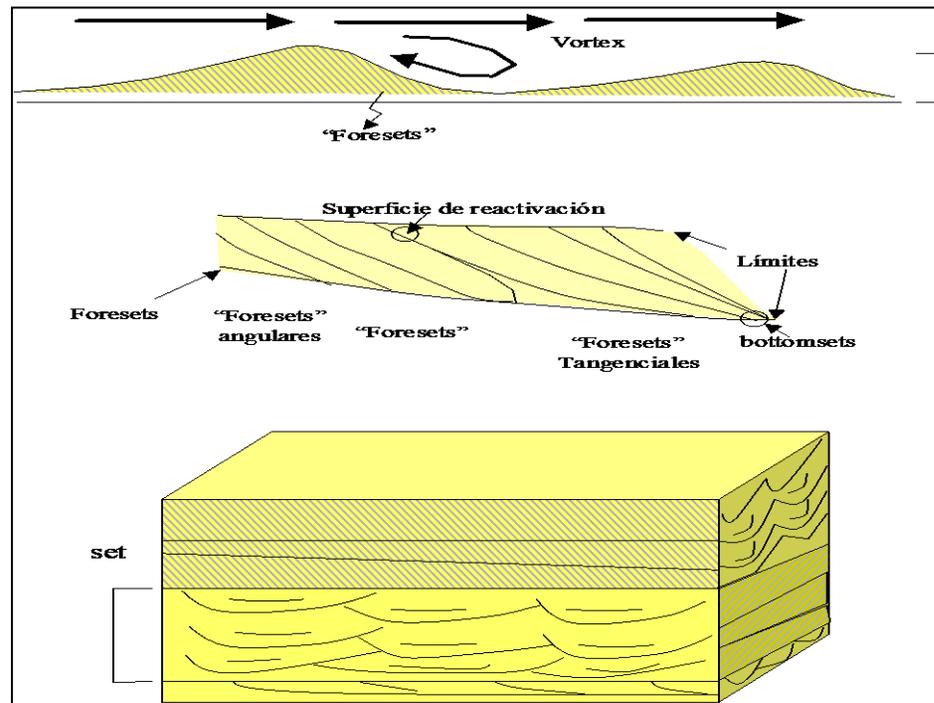


Figura 3.11 Morfología asociada a la estratificación oblicua (Corrales, J.1977).

Las rizaduras con cresta rectilínea forman láminas paralelas en la parte lateral y láminas oblicuas, limitadas a grupos por superficies de erosión longitudinal (Figura 3.12). Este tipo de laminación se llama laminación cruzada tabular a pequeña escala ("*smallscale tabular crossbeds*"); el conjunto individual de lámina oblicua varía de 1 cm a 5 cm de espesor.

Las rizaduras linguoides forman una laminación más irregular, pues las ondulaciones de las crestas originan depresiones ("*troughs*") corriente abajo. La acumulación de láminas en dirección de la corriente (sotavento) que tapizan las superficies irregulares de estas depresiones produce una laminación oblicua denominada laminación festoneada ("*festoons*"; "*troughcrossbeds*") (Allen, J., 1987).

En corte transversal, los planos individuales forman láminas inclinadas en lo alto que se imbrican verticalmente. En corte longitudinal de los conjuntos que contienen las láminas oblicuas no son paralelos. El espesor de este conjunto es el mismo que el de láminas tabulares (Allen, J., 1987).

Cuando la corriente tiene arena en suspensión, la cual se deposita al mismo tiempo que se forman las rizaduras (estructuras de tracción- decantación), la "lluvia" o caída de arena que tapiza las rizaduras puede ser tal que las caras de barlovento de las rizaduras podrían preservarse. Estas rizaduras se llaman "climbingripples" y en función del porcentaje relativo de material sedimentado por tracción y decantación, pueden formarse diferentes tipos de "climbingripples" (Allen, J., 1987).

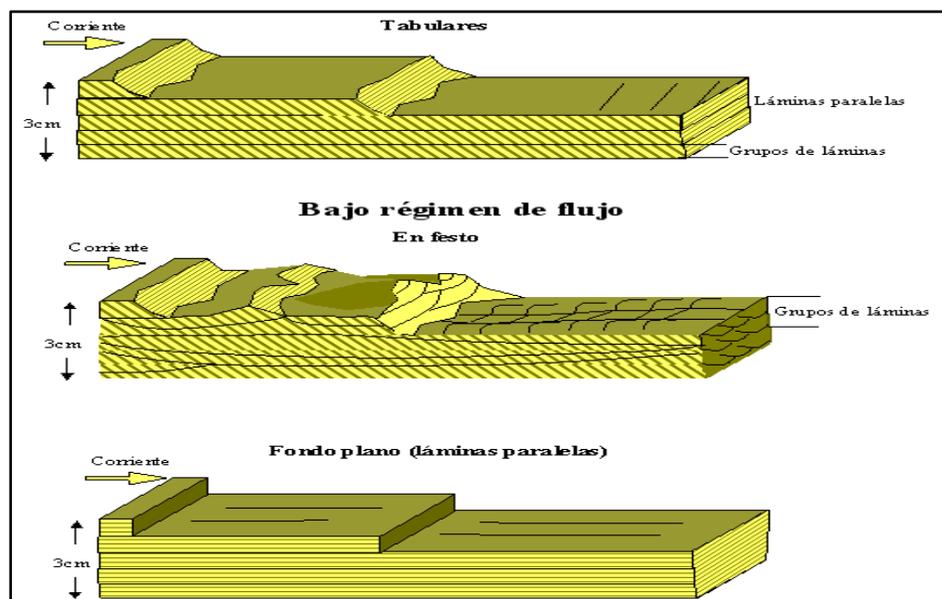


Figura 3.12 Diferentes tipos de laminaciones (Allen, J., 1987).

3.2.12.2 Laminaciones en las megarrizaduras (Dunas hidráulicas)

La laminación originada por las dunas parece a la de las rizaduras, pero de mayor tamaño. Los grupos individuales de planos oblicuos varían desde una decena de centímetros a algunos metros (Allen, J., 1987).

Las megarrizaduras rectilíneas originan una laminación oblicua sobre planos más o menos paralelos. Esta se llama laminación oblicua tabular ("*tabular crossstratification*") (Allen, J., 1987).

En un ambiente costero, en las playas, este tipo de laminación está frecuentemente asociado a las barras de rompiente ("*swashbars*") o construcción en forma de megarrizadura generalmente subacuática, formada por la ola rompiente (Allen, J., 1987).

Cuando la corriente es mayor y la turbulencia más fuerte, las megarrizaduras se vuelven más irregulares, las crestas forman ondulaciones linguoides y los valles entre las dunas tienen áreas donde se acumulan detritos. En este caso, las láminas oblicuas se originan sobre una superficie ondulada y provocan una laminación oblicua (de dunas) en festones o "*largescalecrossstratification*" (Allen, J., 1987).

En los ambientes de fuerte energía, variable en el espacio y en el tiempo tales como las playas y los ambientes dominados por mareas, se encuentra frecuentemente secuencias en las cuales se suceden laminaciones de dunas con las de rizaduras. Estas sucesiones son, a veces, criterios diagnósticos para reconocer un ambiente sedimentario (Allen, J., 1987).

3.2.12.3 Láminas paralelas

Este tipo de laminaciones consiste en una superposición de láminas tabulares paralelas, horizontales o ligeramente inclinadas. Esta forma de estratificación representa el régimen de transporte de fondo plano, producto de una corriente de régimen torrencial (Allen, J., 1987).

Esta estructura es característica de los ambientes de playa y corresponde a laminaciones paralelas sedimentarias en el frente de la playa ("*shoreface*") con una, débil pendiente hacia el mar (Allen, J., 1987).

Otro tipo de estructuras, recientemente descubiertas, la "*hummockycrosstratification*", presentan elementos similares a los de la estratificación paralela. La estratificación "*hummocky*" es característica de los depósitos de tormentas, generalmente sobre la plataforma (Figura 3.13) (Allen, J., 1987).

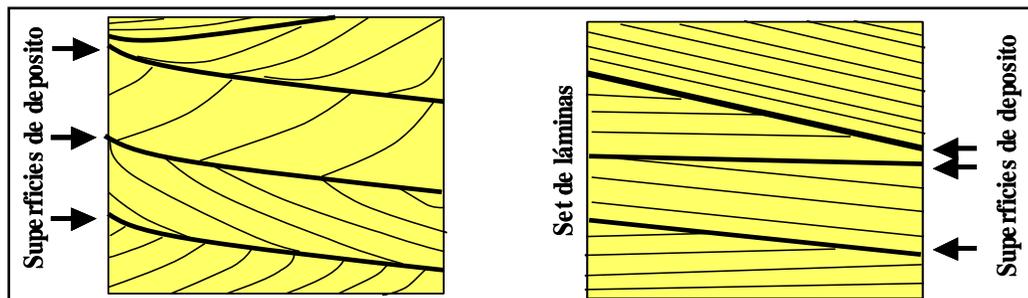


Figura 3.13 Relación geométrica entre las láminas arenosas y de superficie de depósitos. (Allen J., 1987).

El análisis de las estructuras de corriente permite determinar la intensidad y la dirección de las corrientes (salvo el caso de la estratificación paralela). Los detalles y las particularidades de estas estructuras permiten también determinar la naturaleza de

los mecanismos de transporte, el cual, junto a otros datos, principalmente paleontológicos, permitirá evaluar y reconstruir el ambiente de sedimentación del depósito (Figura 3.14) (Leeder, M., 1982).

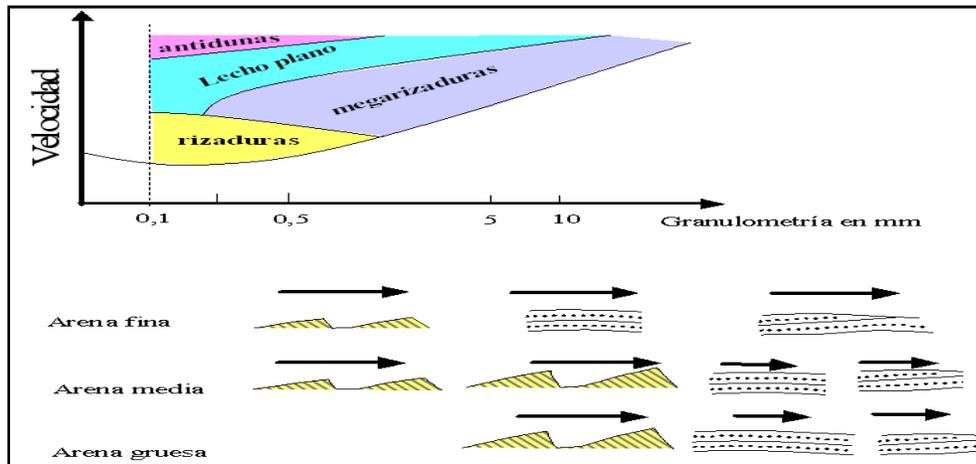


Figura 3.14 Estructuras de corriente en función de la granulometría (Leeder, M., 1982).

..

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

Se 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 (Arias, 2012).

Se dice que la presente investigación es de tipo descriptiva, ya que a través de ella, se realizará la caracterización del lecho del cauce del río Orinoco en el sector Guasina. 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.

4.2 Diseño de la 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 es de campo, debido a que consistirá en la recolección de datos directamente del sitio donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna, y documental porque requiere del análisis de la información de carácter geológico registrada en el Léxico Estratigráfico de Venezuela.

Según el autor (Arias, 2012), define: la investigación documental es 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 e hidrométricos de la zona de estudio.

Por otra parte, Palella y Martins, (2012), define: 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.

Entre las observaciones de campo se pueden mencionar, la toma de muestras de sedimentos del lecho del río. Adicionalmente, se hizo observación del relieve, del tipo de vegetación presente en el área, de la fauna.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

Se entiende por población el conjunto finito o infinito de elementos con características comunes, para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos del estudio”. (Arias, 2012).

La población o universo a estudiar, se concibe como el espacio de donde se extraerá la muestra que se va a utilizar en la investigación. En este sentido, Balestrini, (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 sector Guasina del río Orinoco, así como también las características del flujo presentes.

4.3.2 Muestra de la investigación

Según 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.”

La muestra de la investigación estará constituida por las ocho (6) muestras de sedimentos tomadas del lecho del río en el sector Guasina.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

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

4.4.1 Observación directa.

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

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

4.4.2 Revisión literaria

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

4.4.3 Entrevistas no estructuradas

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

Tal como lo expresa Sabino, (1992): “de un modo general una entrevista no estructurada, es aquella en la que no existe una estandarización formal, habiendo por

lo tanto un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas”.

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

4.5 Flujo de la investigación

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

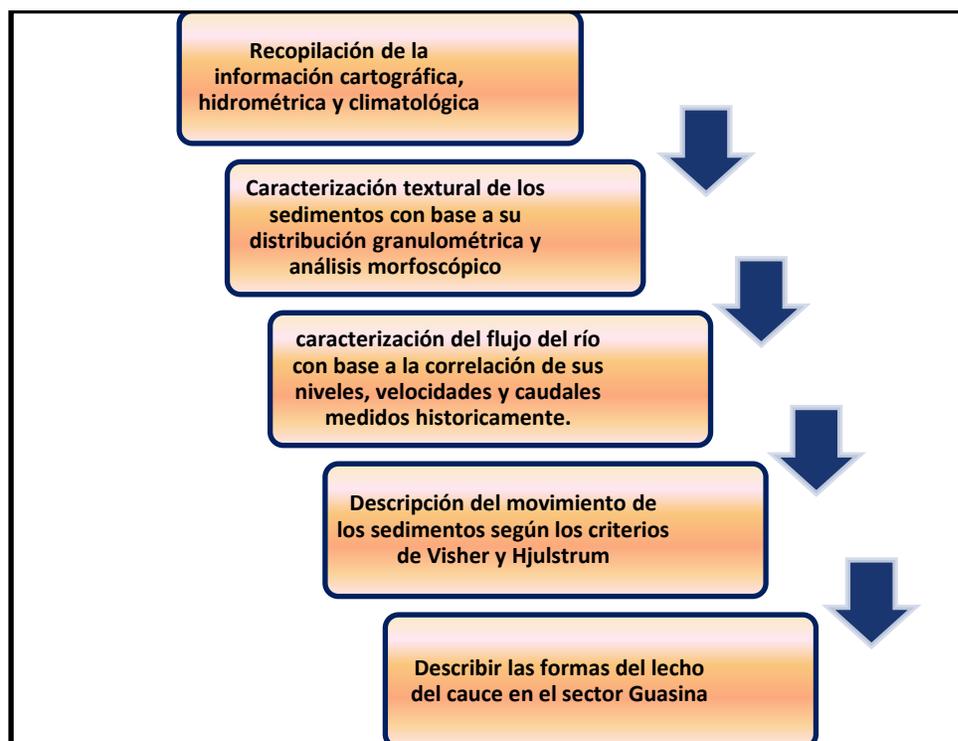


Figura 4.1 Flujo de la investigación.

4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

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

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

El muestreo de sedimentos se ejecutó con un equipo muestreador manual prismático integrador, apoyados con una lancha hidrográfica perteneciente al Instituto Nacional de Canalizaciones. Esta actividad fue posicionada horizontalmente con la ayuda del GPS, y para el posicionamiento vertical se utilizó una Ecosonda “Hidro Trac”, para lograr una mejor precisión al momento de tomar las muestras.

Para la ejecución de la toma de muestras se deja caer libremente el muestreador hasta el fondo del río, luego se iza el equipo con las muestras. Las muestras extraídas se colocan en bolsas plásticas identificadas adecuadamente.

A las seis (6) muestras de sedimentos del lecho del cauce, se les realizará análisis granulométrico y análisis de forma de las partículas.

El análisis granulométrico según Bowles (1981), tiene como principal objetivo determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo. Este ensayo se llevó a cabo por el método mecánico, que consiste en medir que cantidad de suelo pasa a través de un conjunto de tamices cuyas mayas poseen diámetro ligeramente menores entre ellos.

El tamaño del grano se determinó tamizando 399 gr aproximadamente de la muestra a través de los tamices preseleccionados.

Una vez conocida la cantidad de material depositado en los diferentes tamices, se procede a realizar el gráfico donde se representa el porcentaje de suelo que pasa por cada tamiz respecto al tamaño del grano, obteniendo curvas que permiten visualizar fácilmente la distribución de los tamaños de granos presentes en el suelo; de esta forma se determinó el tipo de suelo presente en cada área de estudio mediante el uso del Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos.

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

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

Se tamiza la muestra.

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

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

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

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

Para la separación y montaje de minerales pesados: este análisis se realiza con el propósito de obtener los minerales pesados presentes en la muestra, previamente tamizada. A continuación se describe el procedimiento utilizado:

- a. La separación de los minerales pesados se hace utilizando Bromoformo de 2,87 mg/l de densidad.
- b. La separación se lleva a cabo en un tubo de harada el cual posee una forma peculiar como la de un balón con dos extremos alargados y es completamente hueco, en un extremo tiene un tubo que se cierra con un tapón y por el otro extremo una llave que nos permite controlar la velocidad y la cantidad de bromoformo y suelo, que salen por ese extremo.
- c. En el tubo de harada se agrega parte del bromoformo y luego se vierte en el una pequeña porción de la muestra que se desea separar.
- d. Se agita cuidadosamente en sentido horizontal.
- e. Después de cierto tiempo los minerales pesados empezarán a sumergirse y los livianos a flotar.
- f. Luego que se han precipitado las partículas de minerales pesados y los más livianos están en suspensión se abre la llave de paso del tubo de harada permitiendo el paso de los minerales pesados que serán retenidos en el papel filtro.

g. Se toman los minerales pesados del papel filtro y luego se procede a realizar el montaje en una lámina previamente identificada, la cual se coloca encima de una hornilla eléctrica, se le agrega una pequeña porción de Bálsamo de Canadá y cuando esté en su punto se esparcen los minerales quedando regularmente diseminados en el centro de la lámina, posteriormente se coloca el cubre objeto procurando que no se formen burbujas de aire.

h. Se lava con xilol y queda lista para el estudio petrográfico.

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

Para la caracterización hidrológica de las áreas de estudio se realizaron los hidrogramas de niveles máximos y mínimos de cada área de descarga, se utilizaron los niveles promedios mensuales máximos y mínimos de Palúa durante los períodos 1943-2002, estas lecturas fueron introducidas al programa de computación utilizado en el I.N.C para la emisión del boletín de calado del Departamento de Dragado, para obtener el nivel promedio mensual de cada sector calculado en base a la proyección espacial determinada a través de las pendientes del río (algoritmo del programa) y los niveles de la estación Palúa.

Con los datos de velocidades, caudales y los niveles del río recopilados en los informes de aforos efectuados por el INC, se elaboraron gráficos donde se muestra las correlaciones existente entre estos tres parámetros hidráulicos del flujo del río.

4.6.3 Caracterización del movimiento de los sedimentos del río con base a los criterios de Visher y Hjulstrum

Utilizando los datos de los análisis granulométricos de las partículas se construirá curvas relacionando el porcentaje retenido versus el diámetro de los tamices utilizados. Dicha curva permitirá (previo trazado de las líneas tangentes a la curva) determinar los porcentajes de forma de transporte predominante (tracción, saltación o suspensión) de acuerdo al criterio de Visher (1969).

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

4.6.4 Descripción de las formas del lecho del cauce en el sector Guasina del río Orinoco.

Con la finalidad de caracterizar geomorfológicamente el lecho del cauce en el sector Guasina se construyeron 3 secciones transversales y una longitudinal tomando como referencia profundidades referidas al Nivel de Aguas Bajas (N.A.B).

Con los datos obtenidos en el proceso de digitalización se efectuaron modelos tridimensionales del lecho, con el apoyo del programa Surfer 8.0, que también nos permitieron conocer sobre la evolución histórica del sector y las zonas afectadas por los procesos de erosión y sedimentación a través de los años.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

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

En la siguiente tabla se presentan las coordenadas de ubicación de los puntos de muestreo de los sedimentos del lecho tomadas en el sector Guasina.

Tabla 5.1 Coordenadas UTM
(huso 20, Datum La
Canoa, elipsoide
WGS-84) de los puntos
de muestreo de suelos

Muestra	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
1	654448	947664
2	656763	946289
3	658622	945212
4	661356	943513
5	663520	943676

Para la caracterización textural de las muestras tomadas, se les efectuó análisis de distribución granulométrica y análisis morfoscóptico.

5.1.1 Resultados de análisis de distribución granulométrica

Se realiza el análisis granulométrico por tamizado (sin perder la fracción pasante del tamiz N° 200; \varnothing 0,0745 mm) de la totalidad de las muestras recolectadas en la etapa de campo; según las Normas ASTM D421-58 y D422-63; AASHTO T87-70 (preparación de la muestra) y AASHTO T88-70 (procedimiento de prueba).

Este método por tamizado consiste en separar y clasificar una muestra de suelo a través de un juego de tamices, (este ensayo se le realizó a las diez muestras tomadas en campo) los cuales están dispuestos de la siguiente forma: N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 120, N° 200 y el Pan o fondo del juego de tamices, para poder separar en forma cuantitativa las proporciones en peso de las partículas según su tamaño (mm) y así obtener una mejor distribución semi-logarítmica de la curva (0 partículas en mm vs porcentaje pasante más fino). Este análisis se realiza a las cinco (5) muestras obtenidas en campo.

De acuerdo a los resultados mostrados en el Apéndice A se establece que las muestras son mezcla de arenas limpias fina a media de color marrón claro y según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos corresponden a un suelo tipo “SP” o arenas mal gradadas.

5.1.2 Resultados del análisis morfosκόpico de las partículas

Para el Análisis de forma: se toma el porcentaje de la fracción retenida en el tamiz N° 40 de la serie ASTM, 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 (100 ± 110) °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 según el observador fueron clasificados en angulosos, sub-angulosos, sub-redondeados, redondeados y bien redondeados, según la clasificación de Pettijohn (1980), de acuerdo a esto se construyeron los histogramas de frecuencia quedando así definida la madurez de cada sedimento. Para la elaboración de histogramas de frecuencia que muestran las cuatro formas geométricas establecidas (según la clasificación de Pettijohn, 1980) se requiere a la selección de las partículas con referencia a los criterios de angularidad, ya definido en este trabajo.

Los resultados de la Tabla 5.2 y Figura 5.1 demuestran que la forma predominante en la muestras analizadas son sub-angulosas seguidas de las sub-redondeadas. Basados en estos resultados podríamos señalar que los sedimentos provienen de una fuente medianamente cercana, lo que es indicativo que han sufrido un transporte relativamente moderado.

Tabla 5.2 Resultados del análisis morfosκόpico de las partículas.

Muestra	ANGULOSO %	SUB- ANGULOSO %	SUB- REDONDEADO %	REDONDEADO %
1	15	45	10	30
2	11	45	17	27
3	3	35	42	20
4	3	36	47	15
5	8	38	46	8

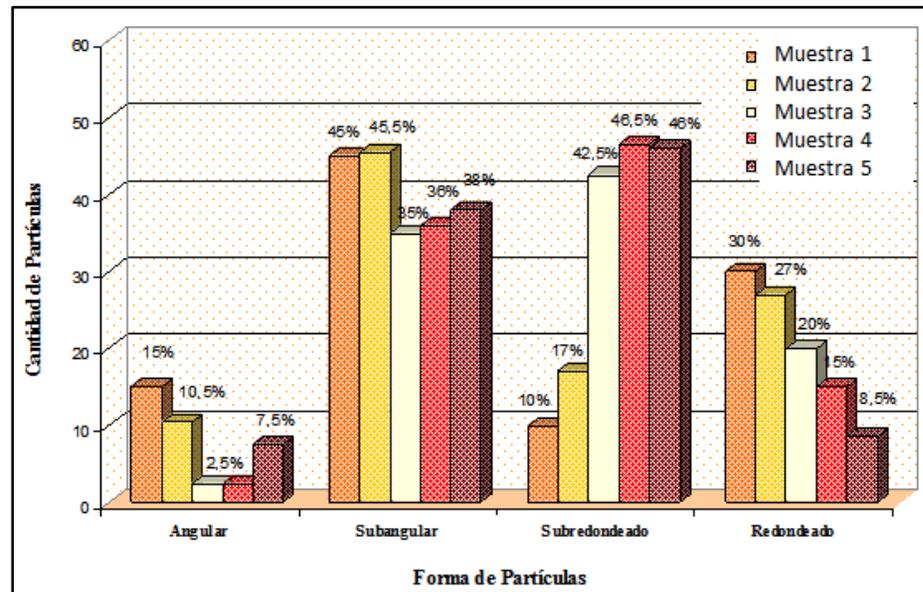


Figura 5.1 Análisis morfoscópico de las muestras de suelos.

A las muestras obtenidas en la fase anterior de esta investigación, se procedió a practicarles ensayos de laboratorio mineralógicos con el fin de inferir sobre el posible origen de tales sedimentos.

5.1.4 Análisis mineralógico

En los resultados obtenidos del análisis de minerales pesados se observó gran variedad de éstos (cuarzo, estaurolita, hornblenda, granate, andalucita, entre otros.) en las muestras tomadas en el sector Guasina (Figuras B.1 a B.5).

Es importante resaltar que todas las muestras presentaron alto porcentaje de minerales opacos aproximadamente un 91% en promedio (Tabla 5.3). La presencia de estos minerales pesados son producto de la desintegración de rocas de ambientes ígneo-metamórficos.

Tabla 5.3 Contenido mineralógico en porcentaje en las muestras de suelos tomadas en el sector Guasina.

Minerales	Muestras				
	1	2	3	4	5
Mica Moscovita	1				
Mica Biotita	<1				
Tremolita	<1				
Clorita			<1		
Turmalina	1		1	1	
Andalucita	<1		1	1	<1
Apatito				<1	
Circón	2	1	5	3	2
Cuarzo	1		2	1	1
Epidoto	1			<1	
Estauroлита	1	1	2	2	1
Granate	<1	<1	<1		<1
Hornblenda	2		<1	1	<1
Opacos	87	97	86	90	93

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

El ciclo hidrológico del río Orinoco está dividido en cuatro períodos diferenciados de acuerdo a las variaciones que sufre el río durante todo el año:

1. Aguas bajas: entre los meses de Enero hasta Abril.
2. Aguas medias ascendentes: entre los meses de Mayo y Agosto.
3. Aguas altas: entre los meses de Agosto a Septiembre.
4. Aguas medias descendentes: entre los meses de Octubre y Diciembre.

Se analizaron los niveles máximos y mínimos de toda la muestra histórica desde el año 1943 hasta el año 2012 considerando solamente promedios mensuales.

La Tabla 5.4 y la Figura 5.2 muestra fluctuaciones de niveles en el orden de 19.8 m registrados en el sector de Guasina durante la época de crecidas del río. Igualmente se evaluaron los niveles mínimos ocurridos en el mes de marzo para dicho

sector reflejando un nivel de 0.9 m, lo cual resulta perjudicial para los requerimientos de calado mínimo para la navegación.

Tabla 5.4 Niveles máximos y mínimos promedio mensuales del río Orinoco en el sector Guasina proyectados a partir de los niveles de la estación Palúa (INC, 2017).

Sector	Nivel	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Guasina	Max	6,3	4,3	4,1	5,4	11,7	15,4	18,9	19,8	18,8	17,3	15,5	11,8
	Min	1,7	1,1	0,9	1,1	2,4	5,5	9,6	14,3	13,8	9,3	6,4	4,1

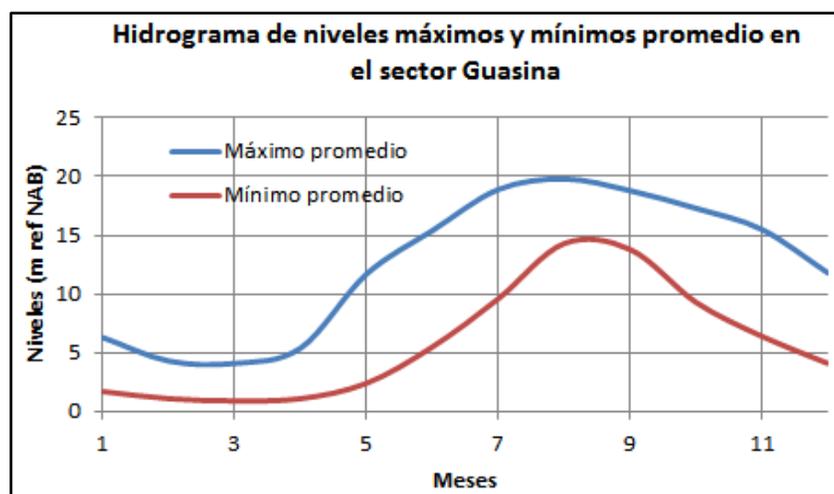


Figura 5.2 Hidrograma de niveles máximos y mínimos promedios mensuales del río Orinoco en el sector Guasina (INC; 2017).

En la sección de aforo Guasina Sur se reduce considerablemente los gastos de flujo que pueden ser medidos en las secciones de aforo que se encuentren ubicadas aguas arriba del ápice del delta como consecuencia del efecto de la distribución de los caudales entre los distintos brazos de la zona deltaica. El análisis de los caudales medidos en la sección de aforo Guasina Sur indica que el máximo gasto líquido descargado por el río Orinoco en esa área es de $16.626,83 \text{ m}^3/\text{s}$.

El patrón de flujo reinante en el área de estudio es longitudinal a la geometría del cauce. En las áreas menos profundas, la distribución de la velocidad es más

uniforme, la corriente presenta mayor velocidad hacia el centro del canal (mayor profundidad) disminuyendo hacia las márgenes del río (debido a la fricción producida entre el flujo y el lecho y márgenes). En el área de estudio los sedimentos son desplazados longitudinalmente hacia la margen derecha del río con velocidades que oscilan entre 1.28 m/s y 1.20 m/s.

Tabla 5.5 Velocidades del río Orinoco en la sección de aforo Guasina Sur medida en aguas altas

Progresiva (m)	Velocidad (m/s)
0,0	0,00
56,8	0,39
113,5	0,71
170,3	0,73
227,1	0,8
283,8	0,84
340,6	0,94
397,4	0,77
454,1	0,82
510,9	1,12
567,7	0,98
624,4	0,96
681,2	0,78
738,0	0,78
794,7	1,03
851,5	0,86
908,3	0,87
965,0	0,92
1021,8	0,99
1078,6	0,10
1135,3	1,13
1192,1	0,00

Con los datos recopilados del INC, en los informes de aforos referentes a las velocidades, caudales y los niveles del río en épocas de aguas altas descendentes (Tabla 5.6), se elaboró el gráfico donde se muestra la correlación existente entre los niveles, caudales y velocidades del río (Figura 5.3).

Tabla 5.6 Datos de la sección de aforo Guasina Sur, período 1997-2002 (milla 105.4), período 1997-2002 (INC, 2017).

Fecha	Hora	Gasto Líquido (m ³ /s)	Gasto Sólido (tm-día)	Velocidad Media (m/s)	Nivel Socoroco (m)
24/03/2002	10:40	5577,28		0,45	0,65
03/12/2001	16:30	10294,78	54109,35	0,78	1,85
02/07/2001	10:50	10302,97	101628,52	0,71	3,1
23/03/2001	10:00	6075,62	4111,98	0,48	0,85
26/03/2000	15:12	6026,89	9199,45	0,52	1,15
26/08/1999	16:25	25747,62		1,32	5,2
21/04/1999	10:57	8776,14	27929,18	0,62	2,17
02/04/1998	16:00	2885,03	4696,18	0,21	0,27
04/06/1997	16:04	13829,9	12665,9	0,95	2,32

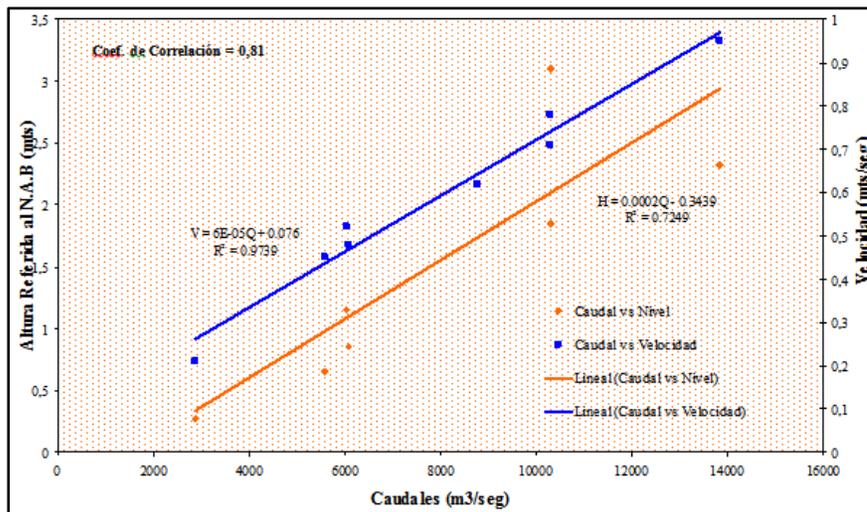


Figura 5.3 Correlación de los caudales, niveles y velocidades registrados en la sección de aforo Guasina Sur de la milla 105.4 durante el período 1997-2002.

5.3 Caracterización del movimiento de los sedimentos del río con base a los criterios de Visher y Hjulstrum

El mecanismo del movimiento de sedimentos es un fenómeno tridimensional, inestable y muy complejo, gobernado por el campo de corrientes, la temperatura y la

calidad del agua y de los sedimentos. Dependiendo de las características del sedimento, fuerzas mecánicas y físico – químicas actúan simultáneamente creando un patrón de sedimentación (Power y Saavedra, 1998).

Se utilizará para caracterizar el movimiento de los sedimentos en el sector objeto de estudio, los criterios de Hjulstrum (para determinar la velocidad mínima requerida para que se produzca el movimiento incipiente) y el criterio de Visher (para determinar la fracción porcentual de los sedimentos que se mueve por tracción, saltación o suspensión).

5.3.1 Movimiento según criterio de Hjulstrum

La variabilidad geomorfológica de un cauce fluvial depende en gran medida del movimiento de las partículas que integran los sedimentos del lecho y las riberas. A tal efecto, se debe considerar la distribución granulométrica de los sedimentos y las velocidades de corriente del río.

El modelo de Hjulstrum (Figura 5.4) permite determinar estas velocidades mínimas de la corriente que generan cambios en el estado de movimiento de las partículas. Entrando por el eje de las abscisas con el diámetro medio de las partículas (d_{50}), se interceptan las líneas divisorias de las zonas del gráfico que separan los diferentes estados del movimiento de las partículas y luego, en el eje de las ordenadas se obtienen estas velocidades límites.

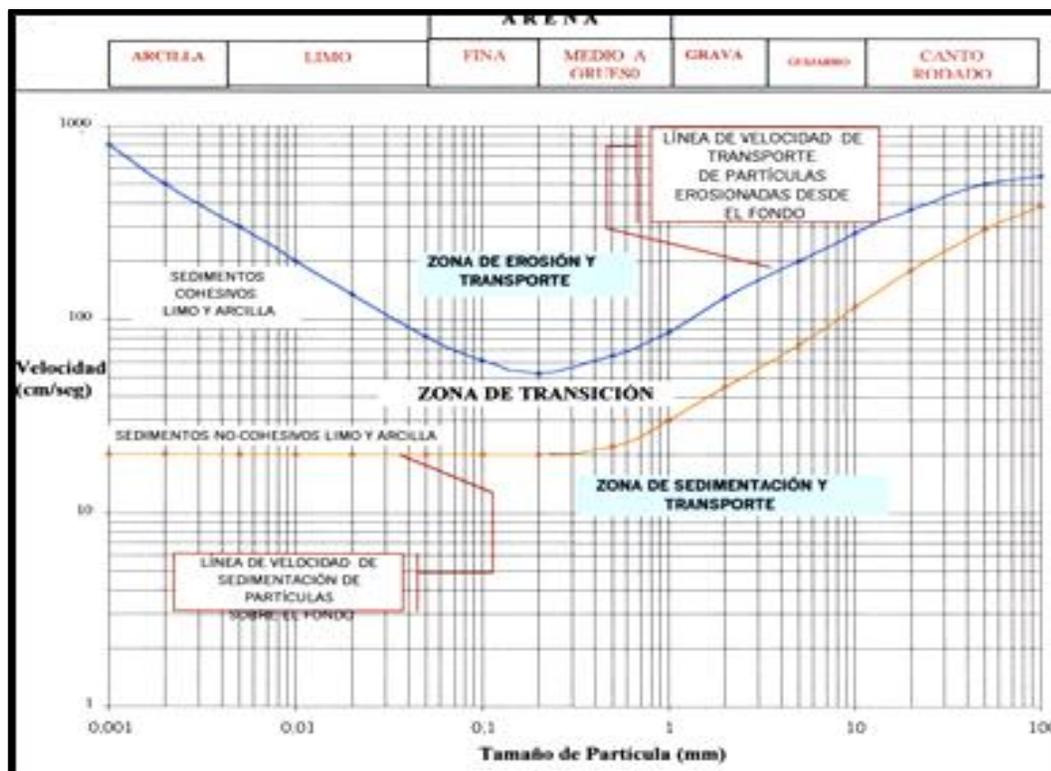


Figura 5.4 Modelo de Hjulstrum

Obteniéndose los siguientes resultados de velocidades límites para que se produzcan los procesos de sedimentación, transporte o erosión de los sedimentos, según se presenta a continuación en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Velocidades límites para que se produzcan los estados de movimiento de los sedimentos.

Muestras	d_{50} (mm)	Velocidad para Sedimentación (cm/s)	Velocidad para Transporte (cm/s)	Velocidad para Erosión (cm/s)
1	0.3	≤ 20	$20 \leq x \leq 53$	≥ 53
2	0.7	≤ 26	$26 \leq x \leq 75$	≥ 75
3	0.4	≤ 22	$22 \leq x \leq 61$	≥ 61
4	0.4	≤ 22	$22 \leq x \leq 61$	≥ 61
5	0.5	≤ 23	$23 \leq x \leq 65$	≥ 65

5.3.2 Movimiento de los sedimentos según criterio de Van Rijn

La tabla 5.8 tomada de Van Rijn (1989) muestra los valores de movilidad crítica (θ_{cr}), en función del diámetro de las partículas, delimitando áreas donde existe un régimen en suspensión y otra región en donde las partículas se encuentran en reposo, es decir, sin movimiento.

En base a estos parámetros se observa que de acuerdo a los criterios de Shields y Engelund existe la tendencia de que gran parte de los materiales presentes en el cauce tienen tendencia a la suspensión. Según el criterio de Van Rijn sobre la iniciación del movimiento y suspensión un número considerable de sedimentos se encuentran en procesos de transporte bajo esta modalidad: suspensión.

El esfuerzo cortante mínimo necesario para que estos sedimentos transportados inicien el movimiento según Van Rijn debe ser: 3,24 Kg/m².

Tabla 5.8 Valores de θ_{cr} y del d_{50} para determinar el movimiento incipiente según el modelo de Van Rijn

Muestra	θ_{cr}	$d_{50}(m)$
1	0,054	0,0003
2	0,187	0,0007
3	0,113	0,0004
4	0,126	0,0004
5	0,083	0,0005

Considerando los valores extremos calculados de θ_{cr} y del d_{50} para las muestras de suelo tomadas que corresponden a las muestras 1 y 2, se graficaron en el modelo de Van Rijn (líneas de color rojo de trazo segmentado en la Figura 5.5) obteniéndose que las muestras se encuentran en condiciones de movilización. Cabe destacar que el movimiento incipiente se iniciará para un $\theta_{cr} = 5.2$ aproximadamente.

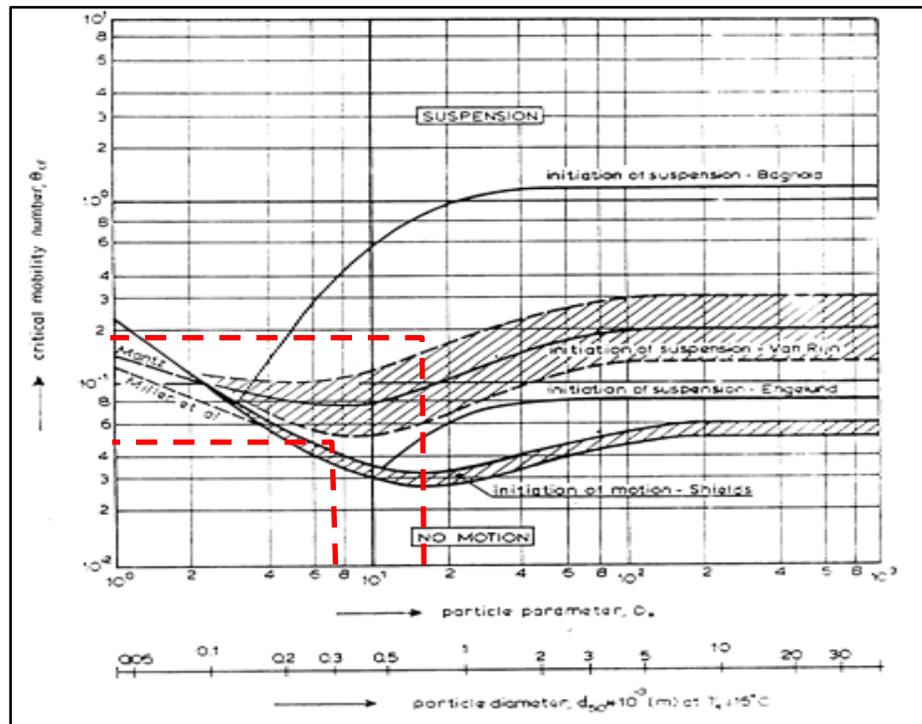


Figura 5.5 Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho (Van Rijn, 1990).

5.3.3 Movimiento de los sedimentos según criterio de Visher

En primera instancia se considerarán las curvas granulométricas construidas con base a los porcentajes de retenido acumulado en relación al diámetro de las partículas retenido en cada tamiz (diámetro equivalente al diámetro de la malla). Posteriormente se trazarán las tangentes a cada curva de acuerdo a sus diferentes puntos de inflexión (Apéndice C). De la intercepción de estas tangentes se determinarán en el eje de las ordenadas los límites de cada familia de partículas de acuerdo como se produzca su movimiento según sea tracción, saltación o suspensión.

De la lectura e interpretación de los gráficos de Visher se estima e interpreta que para cada muestra las fracciones porcentuales que se moverán por tracción, saltación y suspensión se presentan en la Tabla 5.9 siguiente:

Tabla 5.9 Fracción porcentual que se moviliza según mecanismo de Visher.

Muestra	Fracción por tracción		Fracción por saltación		Fracción por suspensión	
	Rango diámetros (mm)	%	Rango diámetros (mm)	%	Rango diámetros (mm)	%
1	>0.8	1	0.8>x>0.28	81	<0.28	19
2	>0.81	2	0.81>x>0.27	87	<0.27	11
3	>0.67	9	0.67>x>0.25	82	<0.25	9
4	>2.1	1	2.1>x>0.45	87	<0.45	12
5	0	12	0.089>x>0	82	<0.089	6

Tal como se puede observar en la tabla anterior, las partículas que integran los sedimentos analizados se mueven predominantemente por saltación.

5.4 Descripción de las formas del lecho del cauce presentes en el sector Guasina

El área de Guasina es una de las más importantes ya que en este sector el I.N.C requiere más tiempo para efectuar las operaciones de dragado de mantenimiento debido a las corrientes imperantes en la zona y a la dificultad para realizar las maniobras de navegación.

Geomorfológicamente el tramo estudiado se encuentra en una zona de mucha actividad erosiva en la cual el río socava la ribera Sur debido en gran parte a las corrientes existentes en la zona, lo cual se puede observar en los perfiles transversales elaborados a partir del plano batimétrico N° OODB-7191 de fecha 03-09-2012 y el N° OODB-7655 de fecha 25-10-2012.

Tabla 5.10 Levantamientos batimétricos utilizados (INC, 2017)

Sector	Millas	Fecha	N° de Plano
		03-09-2012	OODB-7191
Guasina	105.7-106.9	07/10/2011	OODB-7456
		07/10/2011	OODB-7456
		03/09/2012	OODB-7591
		03/09/2012	OODB-7591
		25/10/2012	OODB-7655

La configuración morfológica que presenta el área de Guasina es vista a lo largo del área formando extensas dunas que cubren la superficie del lecho en su totalidad, las cuales se desplazan en sentido Oeste- Este, siguiendo el patrón de circulación del río (Apéndices E.1 a E.4). Esta conducta se puede observar claramente en las secciones transversales mostradas en los gráficos F.4, F.8, F.12 y F.16 de los Apéndice F.

Asimismo, se puede estimar que la longitud de onda (distancia entre dos crestas de dunas consecutivas) de estas dunas varía entre 50 m y 150 m. Por otra parte, se puede observar una variación de la altura de las dunas entre 1m y 3.5 m.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Con base a los análisis de distribución granulométrica y de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se concluye que los suelos presentes en el cauce del sector Guasina son predominantemente arenas medias, y arenas finas mal gradadas (SP) de color marrón claro.
2. De acuerdo al análisis morfosκόpico de las partículas, todos los suelos muestreados presentaron predominantemente partículas de formas sub-redondeadas y sub-angulosas; en vista de lo cual se puede inferir que dichos sedimentos han sufrido moderado transporte presumiblemente por encontrarse su fuente de origen alejada de la ubicación actual de los sedimentos.
3. El contenido mineralógico encontrado en las muestras tomadas en el lecho del cauce en el sector Guasina permiten inferir que estos sedimentos provienen de rocas de características ígneo-metamórficas como las presentes en el escudo de Guayana.
4. El análisis de correlación de los parámetros medidos y registrados durante las campañas de aforos efectuados por el Instituto Nacional de Canalizaciones en la sección de aforo más cercana de la zona de estudio (Guasina) permiten afirmar que existe una relación lineal directa entre el nivel de la superficie del agua, el caudal y la velocidad de la corriente.
5. Asimismo se concluye que el caudal en la sección Guasina Sur era de 16628 m³/s aproximadamente para el momento de la construcción de los planos batimétricos utilizados. . Por otro lado, las velocidades de corriente (medida con flotadores) han

oscilado entre 1.20 y 1.22 m/s las cuales son congruentes con las medidas con correntómetro reportadas en los registros históricos de aforo del INC.

6. Considerando el diámetro medio (d_{50}) de las partículas que integran las muestras tomadas en el cauce del sector Guasina se concluye que para que se produzca el movimiento incipiente o erosión inicial de las mismas, de acuerdo al criterio de Hjulstrum, se requiere velocidades de 75 cm/s. Asimismo, siguiendo el criterio de Visher se determinó que más del 80% de los suelos se movilizarán siguiendo mecanismos de saltación.

7. Los modelos digitales tridimensionales del lecho del cauce del sector Guasina, así como también las secciones transversales construidas a partir de los planos batimétricos de dicho sector facilitados por el Instituto Nacional de Canalizaciones permitieron observar la presencia de estructuras alineadas en forma de dunas en el lecho del cauce del río Orinoco en toda la extensión del sector. Las mismas tenían orientación Oeste – Este con una longitud de onda entre 50 m y 150 m y una altura variable entre 0.5 m y 3.5 m.

Recomendaciones

1. Con base a la mineralogía de los sedimentos presentes en el sector Guasina se sugiere incrementar la densidad del muestreo que permita inferir el flujo y origen de estos sedimentos.

2. Validar el uso de los modelos empíricos existentes para la predicción de las formas del lecho de tal forma que se puedan ajustar y calibrar para el caso del río Orinoco en ese sector.

3. Efectuar estudios correlacionales entre la forma de las partículas, el contenido mineralógico del sedimento y la cantidad de transporte sufrido por dichas partículas.

REFERENCIAS

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

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

Arias, F. (2012). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA**. (6° Edición). Episteme, Caracas, pp 17.25.

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

Bowles, Joseph (1981). **MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS E INGENIERÍA CIVIL**. Series McGraw Hill, Latinoamericana. pp 35-40,175-180.

Consultora Ingeniería Caura., (1994). **ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DRAGADO DEL RÍO ORINOCO**. Tramo Matanzas-Boca Grande, Caracas pp. 16,21-23.

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

C.V.G., (1977). **ESTUDIO GEOTECNOLÓGICO DE CIUDAD GUAYANA Y ALREDEDORES**. Geovenex. Tomo I, pp 17, 33-34.

C.V.G. Edelca, C.A. (2012). **INFORME DE RECOPIACIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ**. Ciudad Guayana.

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

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

Fuerza Aérea de Venezuela. F.A.V. (2012). **INFORMES DE AVANCES METEOROLÓGICOS DE CIUDAD BOLÍVAR**. Ciudad Bolívar.

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

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

González de Juana, C., Iturralde, J. y Picard, X. (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Edición Foninves. Caracas. pp 70.

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

Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V. (1998). **SISTEMA FLUVIAL ORINOCO – APURE. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO**. Caracas. pp 35-42.

Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V. (1999). **CONFORMACIÓN FÍSICA DE LAS ÁREAS DE BOTE**. Caracas. Capitulo III. pp 1-4.

Instituto Nacional de Canalizaciones (1997). **EL RIO ORINOCO Y EL CANAL DE NAVEGACION**. Puerto Ordaz.

Jiménez, L. y Malpica, F. (2003). **EVALUACION DE LAS AREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVA EN LOS SECTORES, GUARGUAPO, YAYA Y GUASINA DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

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

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

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

Miall, A. (1981). **ANALYSIS OF FLUVIAL DEPOSITION AL SYSTEMS**. Am. Ass. Petrol. Geol. Conference. (Inédite),pp 68.

Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1956) **“LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA”**. Editorial Sucre. Caracas. Venezuela.

Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1999). **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA**. Boletín Geología. Tercera Edición. Editorial Sucre, Caracas, Venezuela. Pp 414-415.

Palella S., S. y Martins P., F. (2012). **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA**. FEDUPEL, 3era edición. Caracas, pp10, 33.

Pettijhon, F. (1949). **SEDIMENTARY ROCKS**. Editorial Harper y Brothers. New York.

Pettijohn, J. (1980). **ROCAS SEDIMENTARIAS**. Editorial Universitaria, Buenos Aires. pp. 16-38.

Power, H, García Reinaldo y Saavedra Iván., (1998). **SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA DISPOSICIÓN DE MATERIAL DRAGADO EN EL RÍO ORINOCO**. Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. pp 330-331.

Power, Henry., García Martínez, Reinaldo y Saavedra, Iván., (1989). **SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA DISPOSICIÓN DE MATERIAL DRAGADO EN EL RÍO ORINOCO**. Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. pp 330-331.

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

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

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

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

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

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

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

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

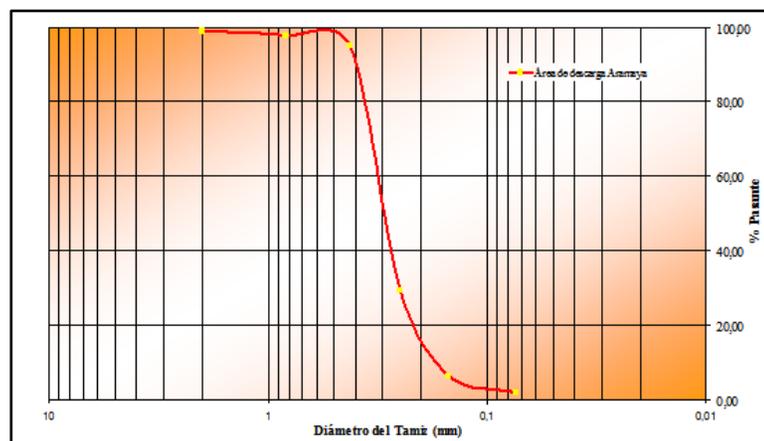
Van Rijn, Leo., (1990). **PRINCIPLES OF SEDIMENT TRANSPORT IN RIVER, ESTUARIES AND COASTAL SEAS**. University of Utrecht. Department of Physical Geography. pp 4.1-4.33.

Visher, G. (1969). **GRAIN SIZE DISTRIBUTIONS AND DEPOSITIONAL PROCESSES YOUR**. Sed. Petro. Boll. 39, Number 3. pp 1074-1106.

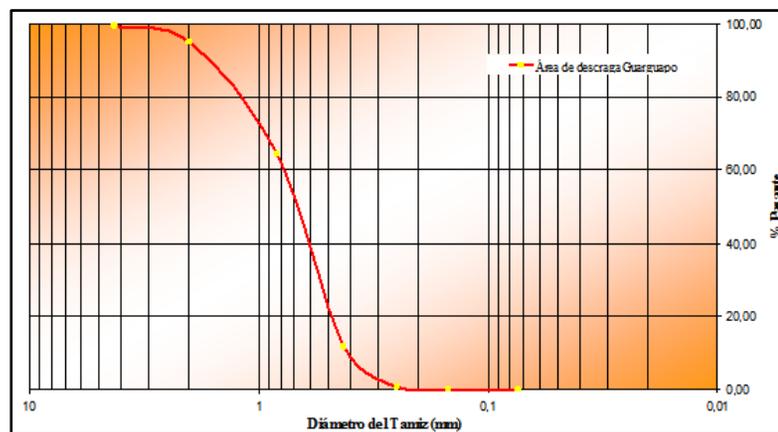
Vivenes, A. (2012). **DETERMINACIÓN DE LOS MECANISMOS DE TRANSPORTE DE LOS SEDIMENTOS DEPOSITADOS EN LA ISLA EL MAMO, ESTADO ANZOATEGUI, RÍO ORINOCO, VENEZUELA**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Venezuela.

APÉNDICES

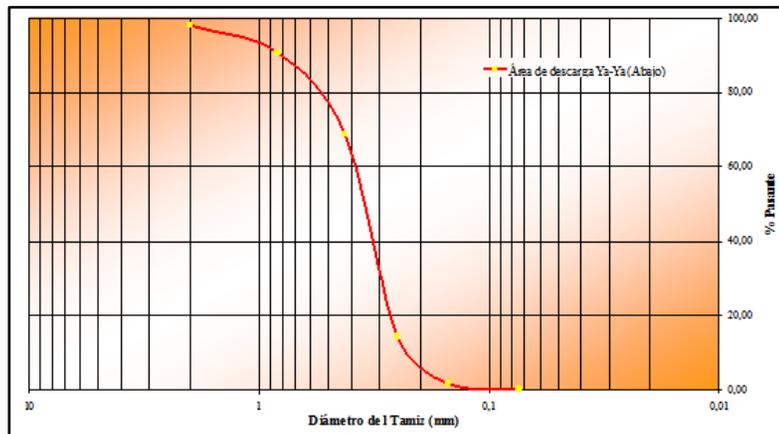
APÉNDICE A
ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA POR VIA
SECA



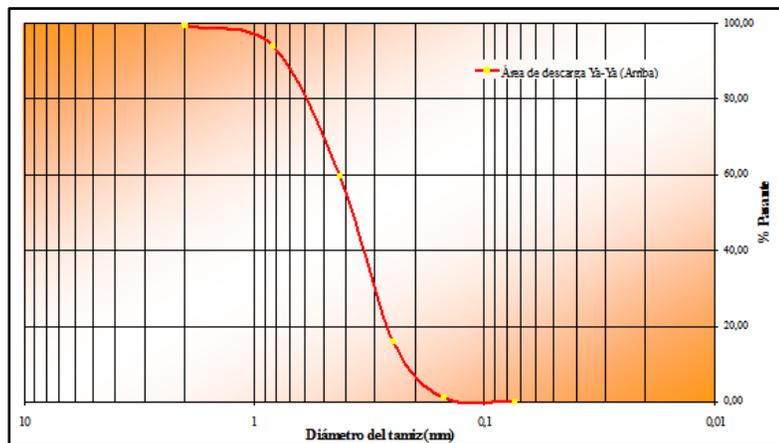
A.1 Curva de distribución granulométrica de la muestra 1.



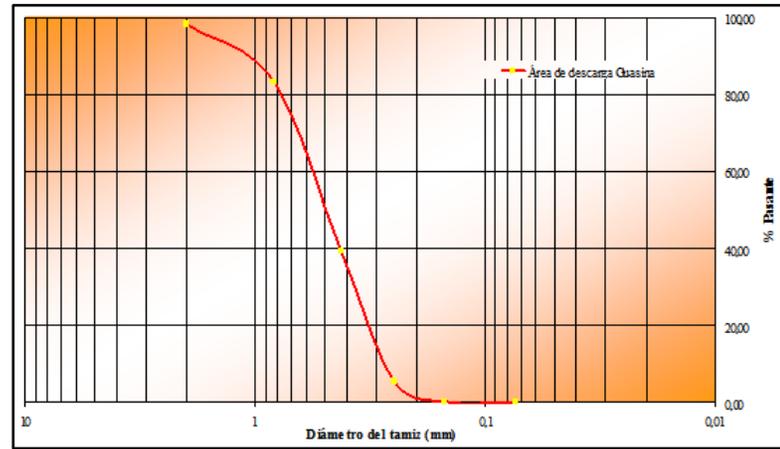
A.2 Curva de distribución granulométrica de la muestra 2.



A.3 Curva de distribución granulométrica de la muestra 3.

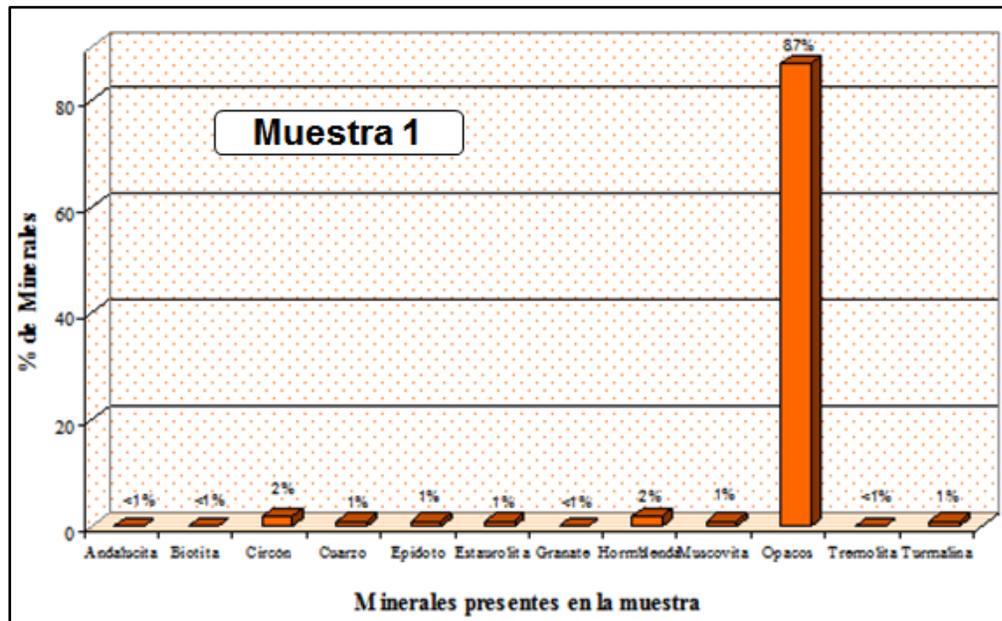


A.4 Curva de distribución granulométrica de la muestra 4.

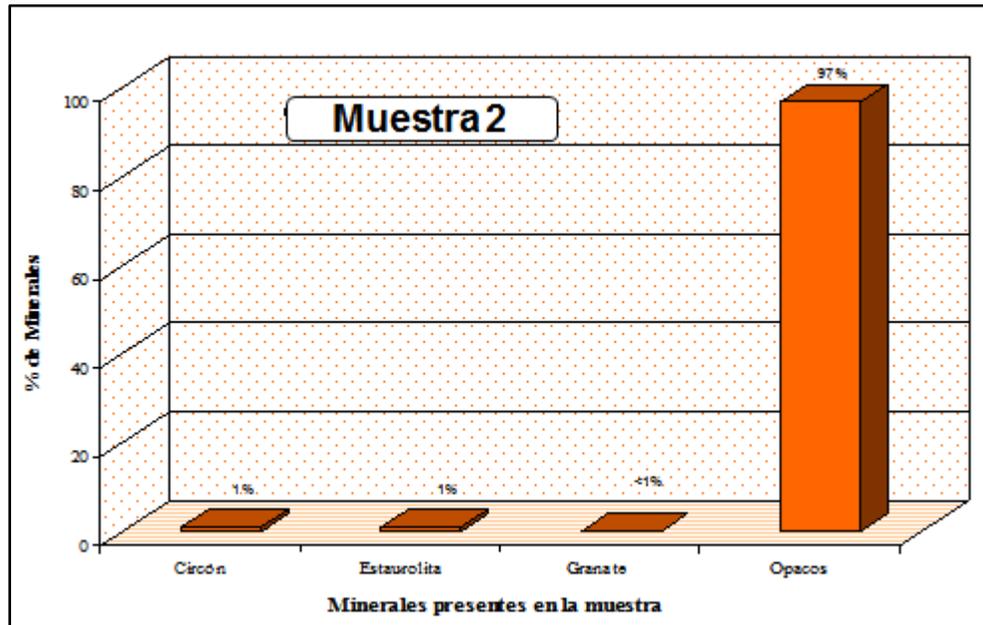


A.5 Curva de distribución granulométrica de la muestra 5.

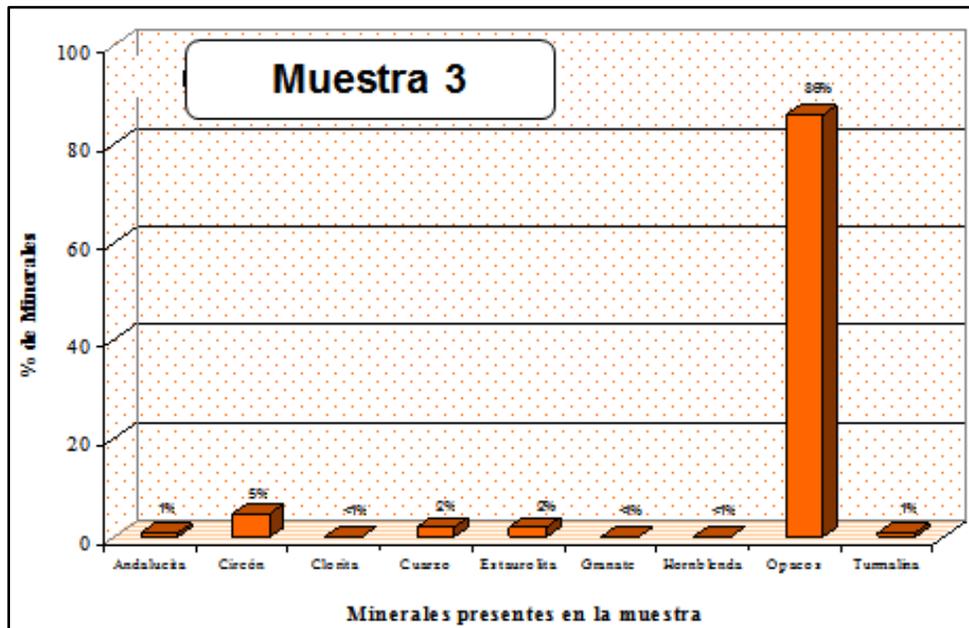
APÉNDICE B
ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LAS MUESTRAS DE
SUELOS



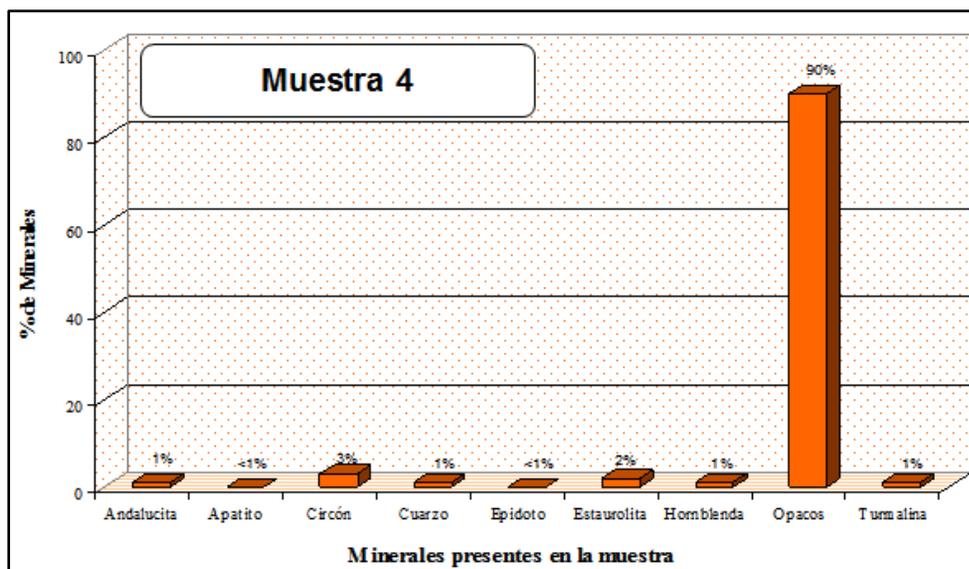
B.1 Análisis mineralógico de la muestra 1



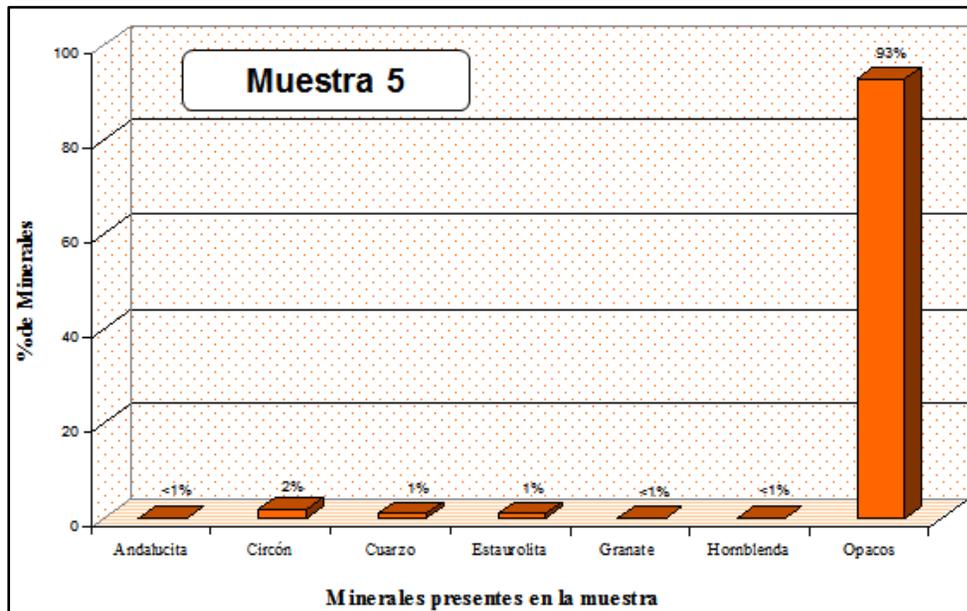
B.2 Análisis mineralógico de la muestra 2



B.3 Análisis mineralógico de la muestra 3

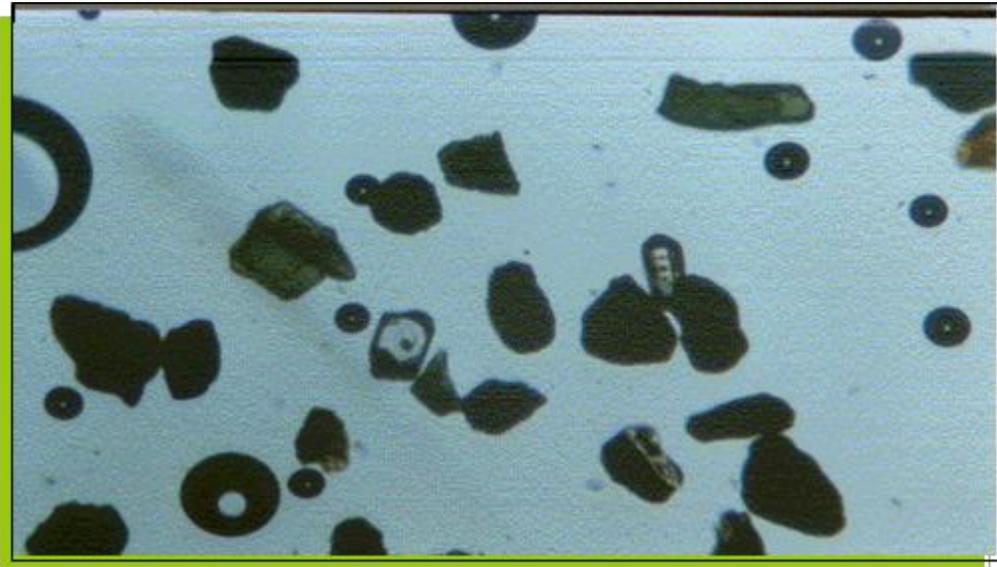


B.4 Análisis mineralógico de la muestra 4



B.5 Análisis mineralógico de la muestra 5

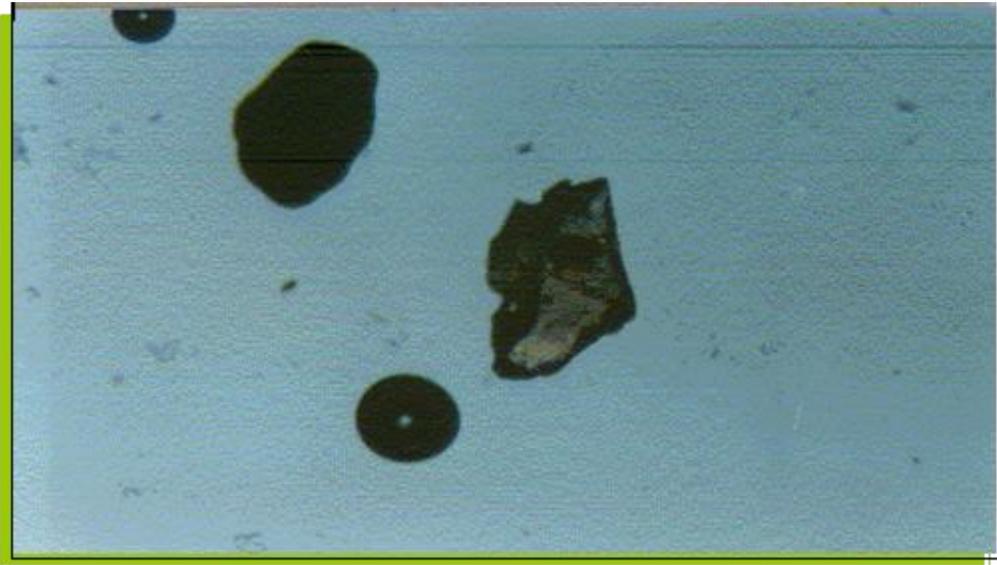
APÉNDICE C
FOTOGRAFÍAS DE ANÁLISIS MINERALÓGICO



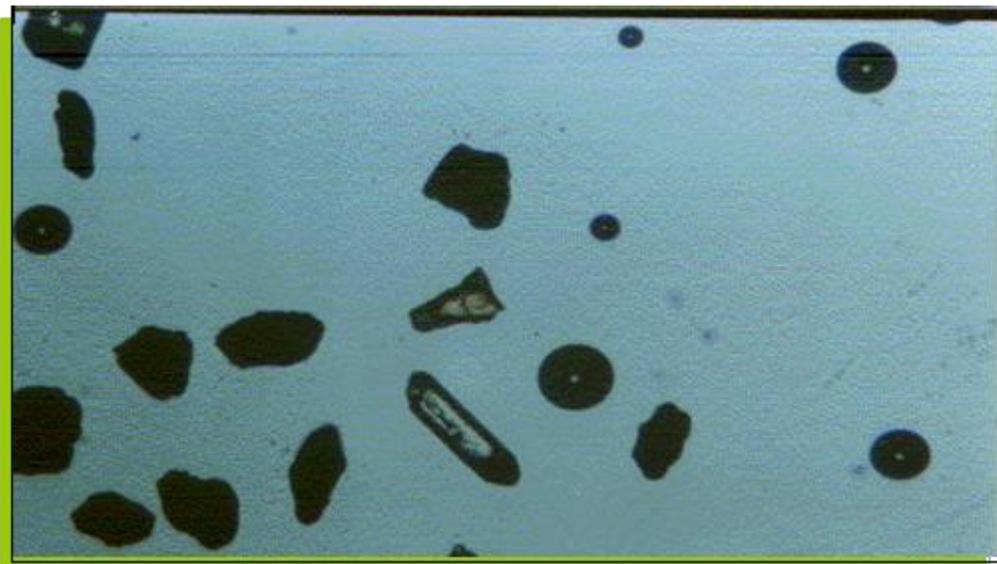
C.1 Análisis mineralógico de las muestras del sector Guasina. Minerales observados (Circón, Cuarzo y Hornblenda).



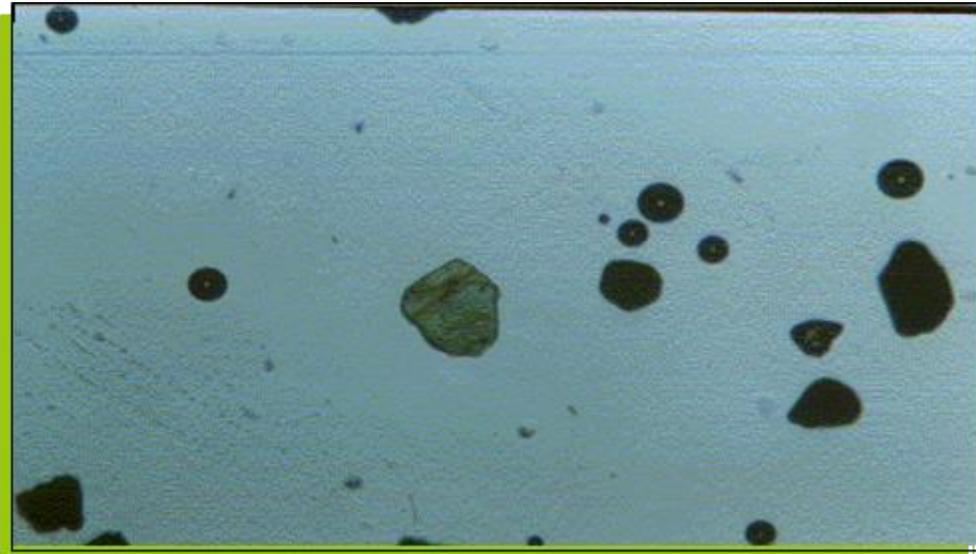
C.2 Análisis mineralógico de las muestras del sector Guasina. Mineral observado (Estauroлита).



C.3 Análisis mineralógico de las muestras del sector Guasina. Mineral observado (Granate)



C.4 Análisis mineralógico de las muestras del sector Guasina. Mineral observado (Circón y Granate).



C.5 Análisis mineralógico de las muestras del sector Guasina. Mineral observado (Clorita).



C.6 Análisis mineralógico de las muestras del sector Guasina. Mineral observado (Andalucita).



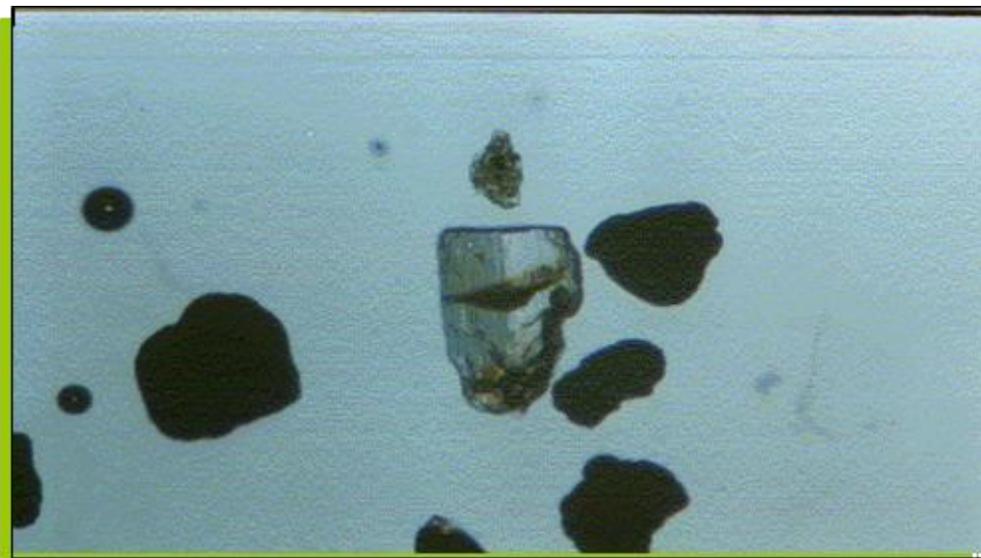
C.7 Análisis mineralógico de las muestras del sector Guasina. Mineral observado (Circón y Epidoto).



C.8 Análisis mineralógico de las muestras del sector Guasina. Mineral observado (Apatito).

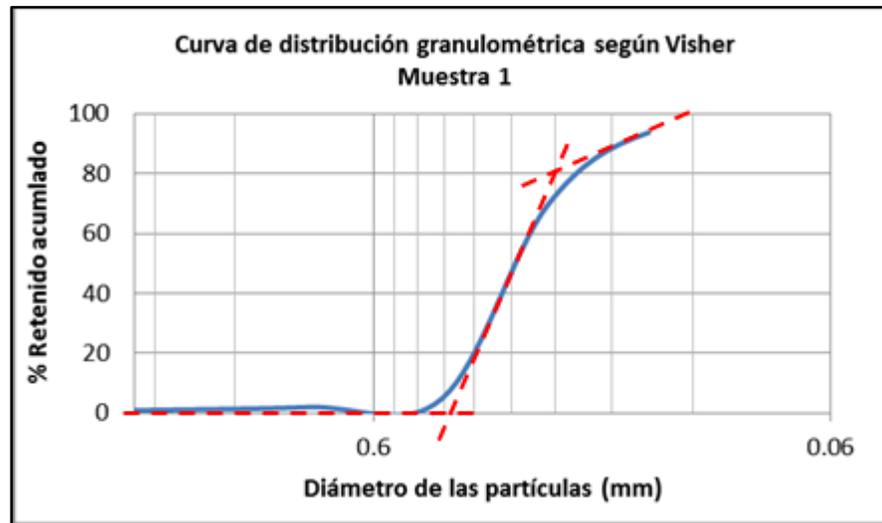


C.9 Análisis mineralógico de las muestras del sector Guasina. Mineral observado (Hornblenda).

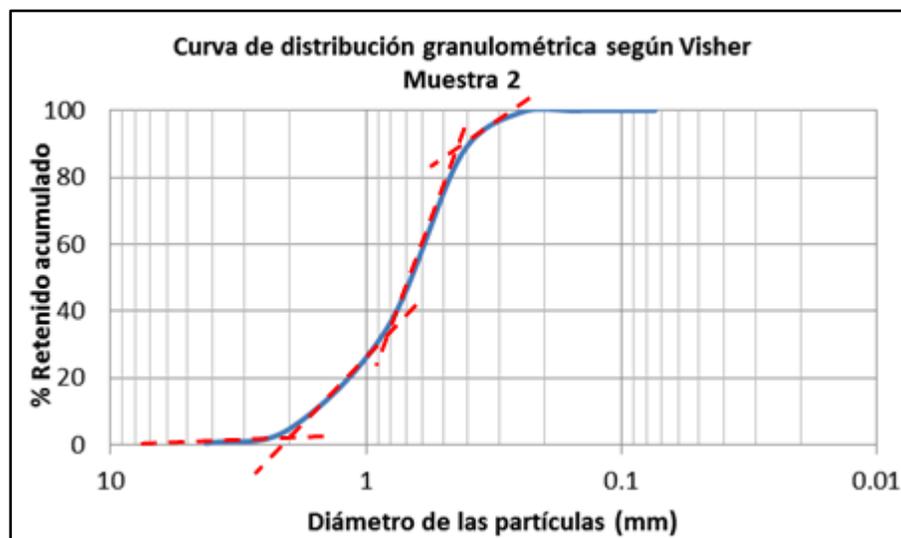


C.9 Análisis mineralógico de las muestras del sector Guasina. Mineral observado (Andalucita).

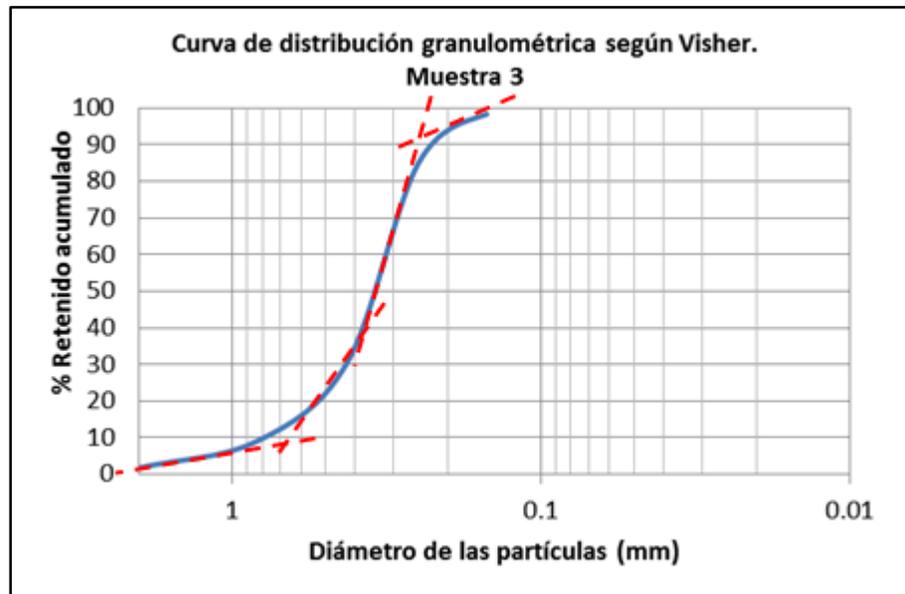
APÉNDICE D
CURVAS GRANULOMÉTRICAS SEGÚN CRITERIO DE
VISHER



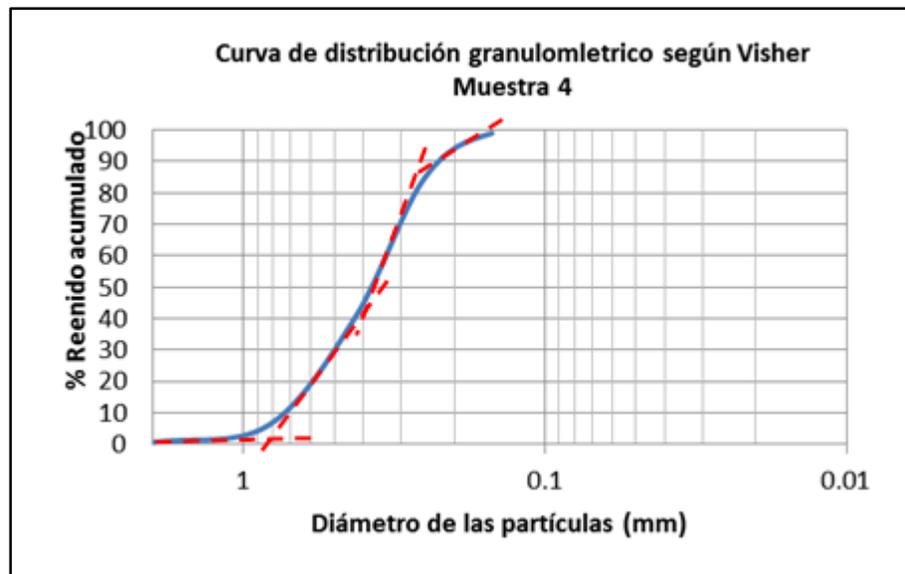
D.1 Curva granulométrica según Visher para la muestra 1



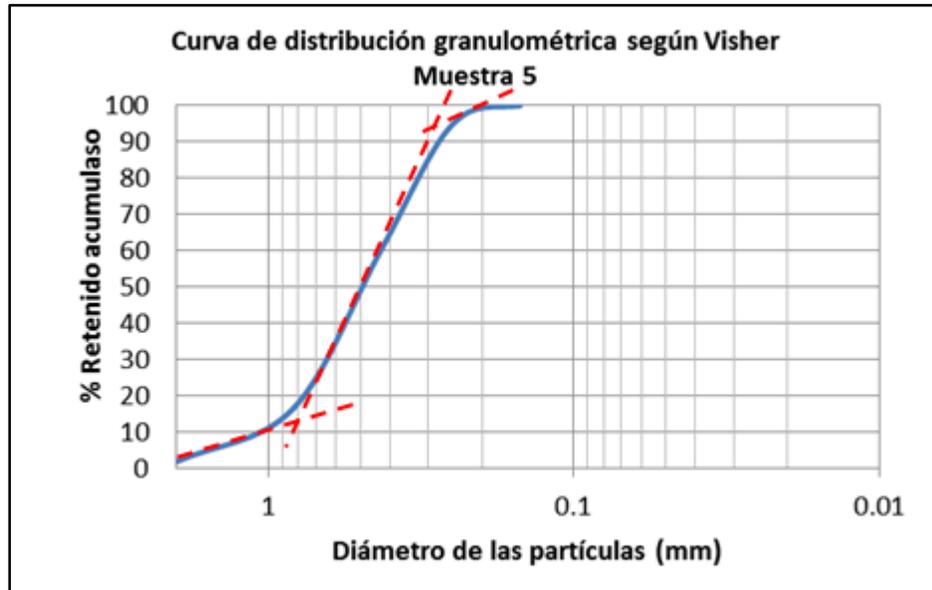
D.2 Curva granulométrica según Visher para la muestra 2



D.3 Curva granulométrica según Visher para la muestra 3.



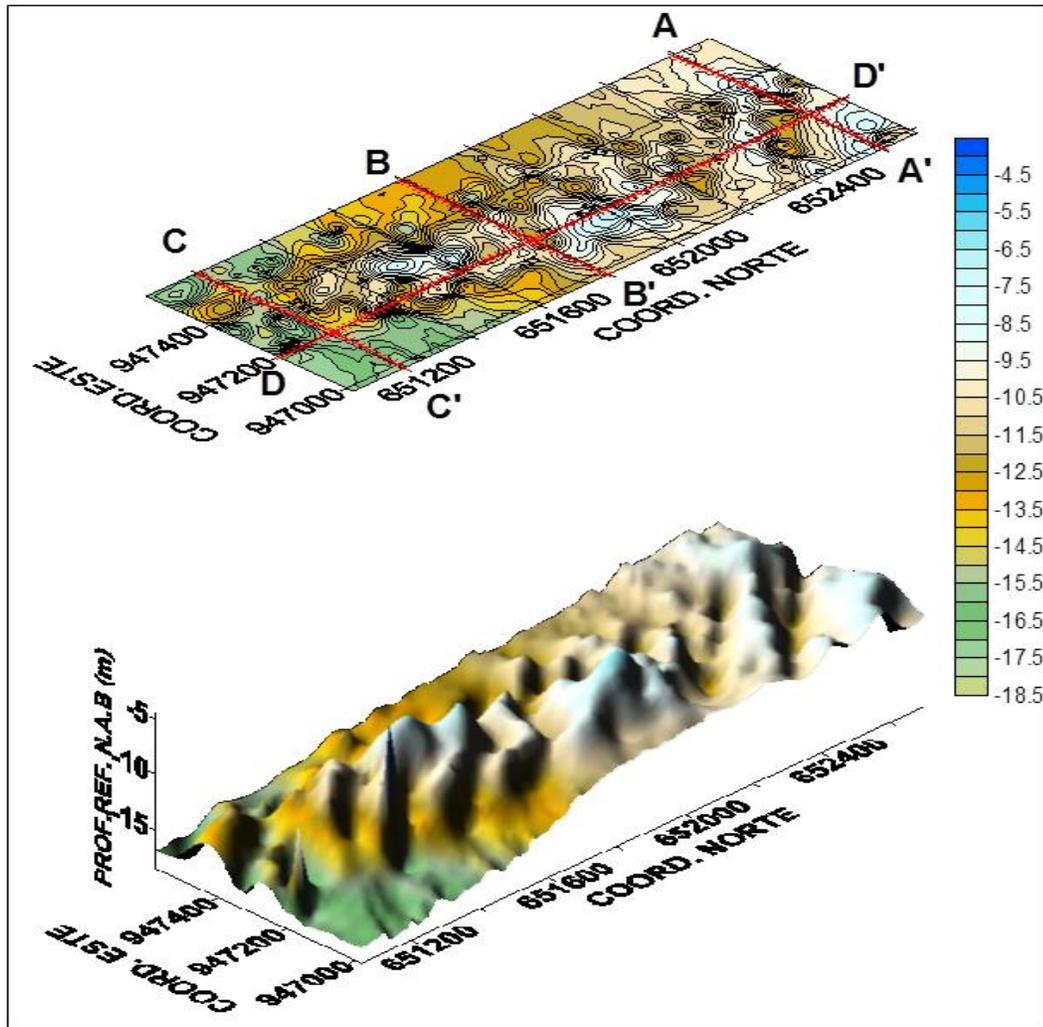
D.4 Curva granulométrica según Visher para la muestra 4



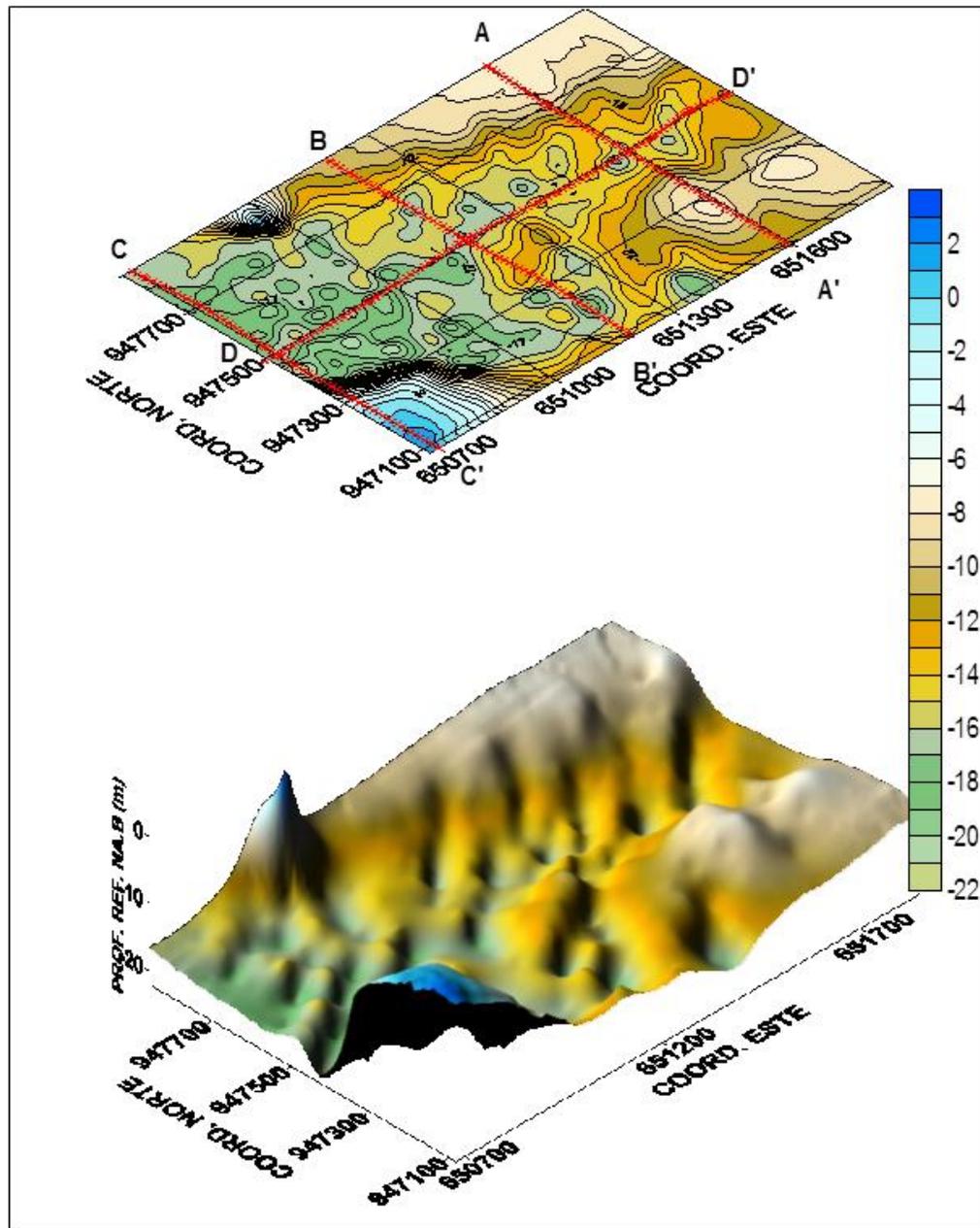
D.5 Curva granulométrica según Visher para la muestra 5

APÉNDICE E

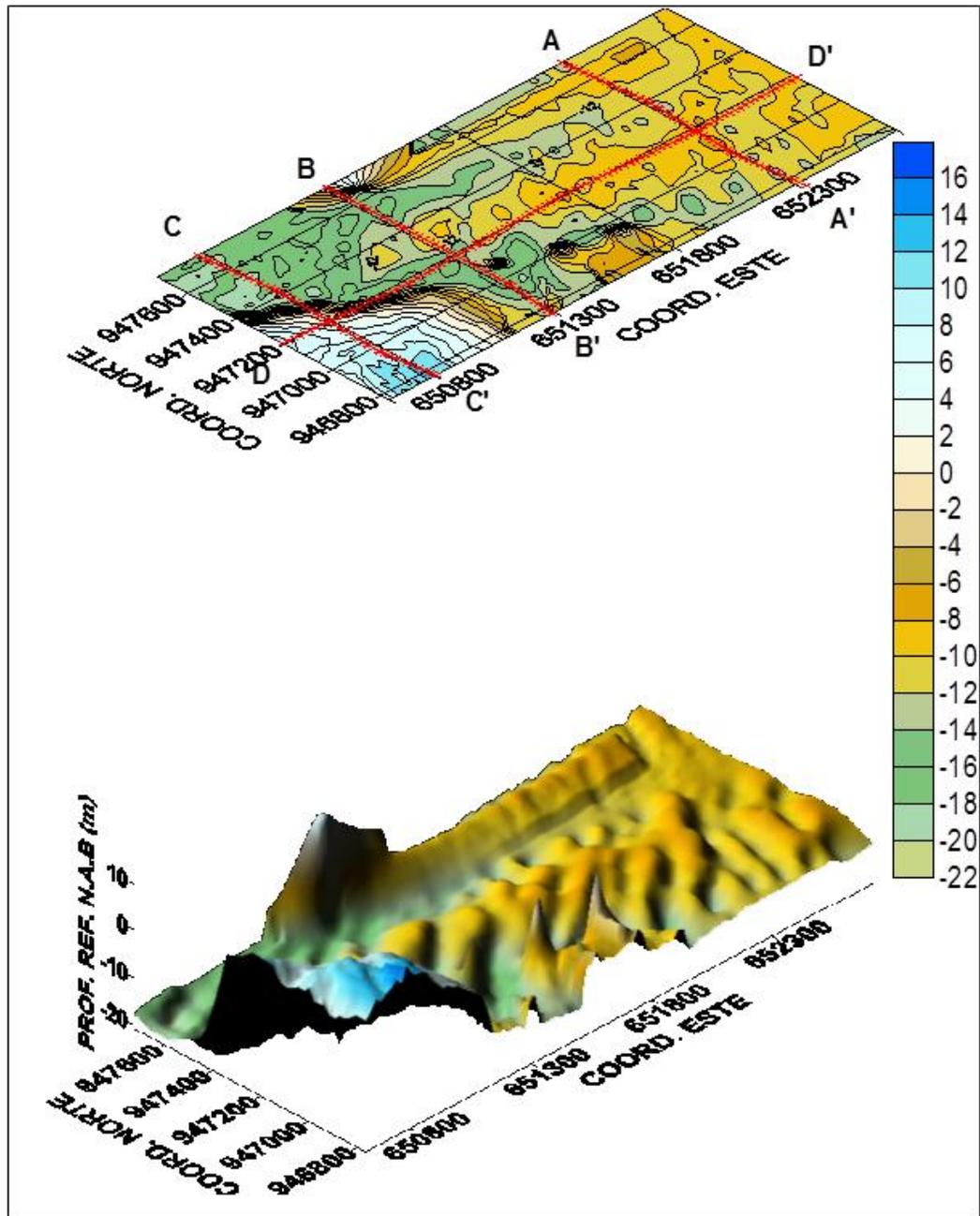
**MODELOS TRIDIMENSIONALES DEL LECHO DEL CAUCE
EN EL SECTOR GUASINA**



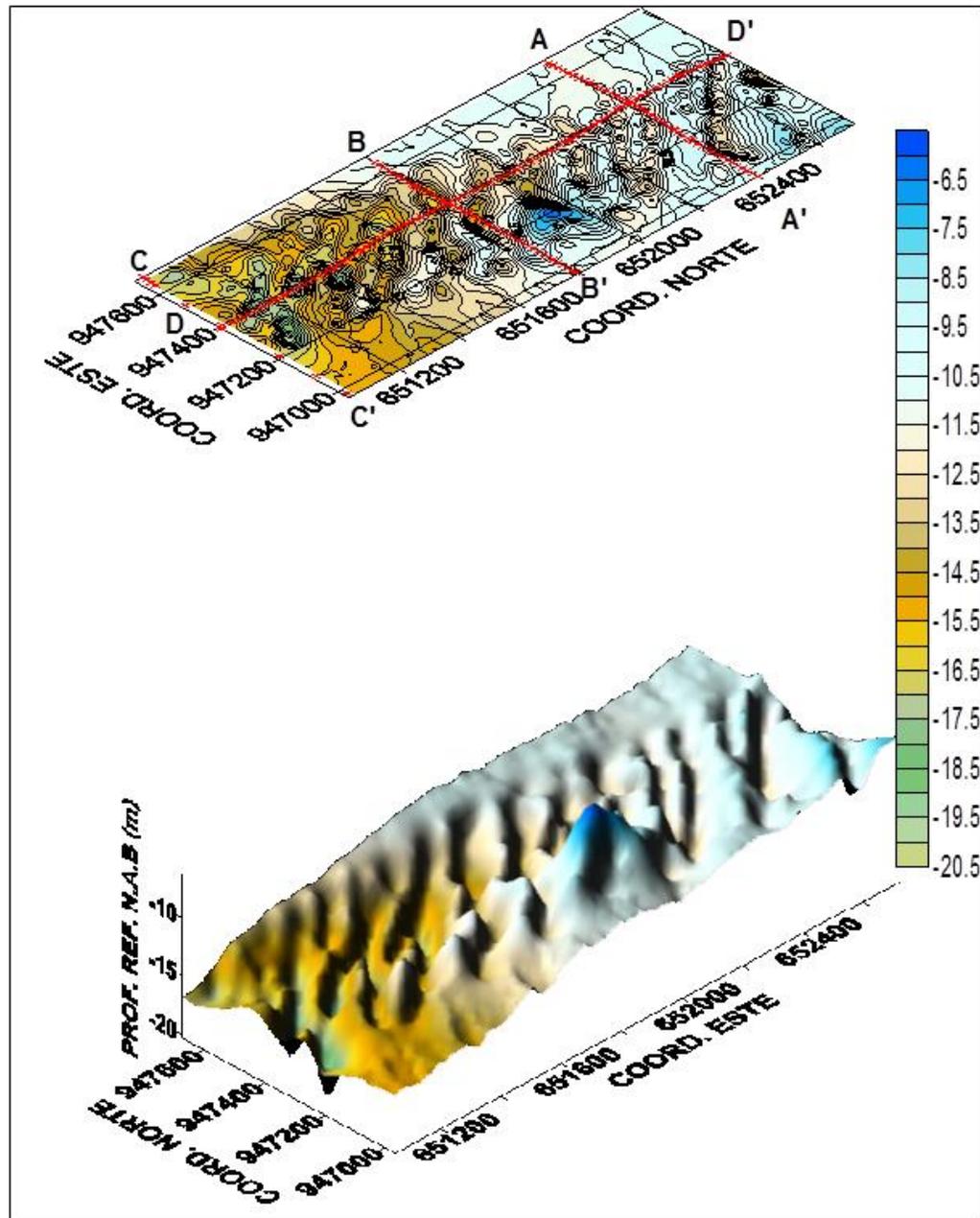
E.1 Modelo tridimensional del sector Guasina del Río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9, plano N° OODB-7366, correspondiente a la fecha 07/05/2011.



E.2 Modelo tridimensional del sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9, plano N° OODB-7456, correspondiente a la fecha 07/10/2011.

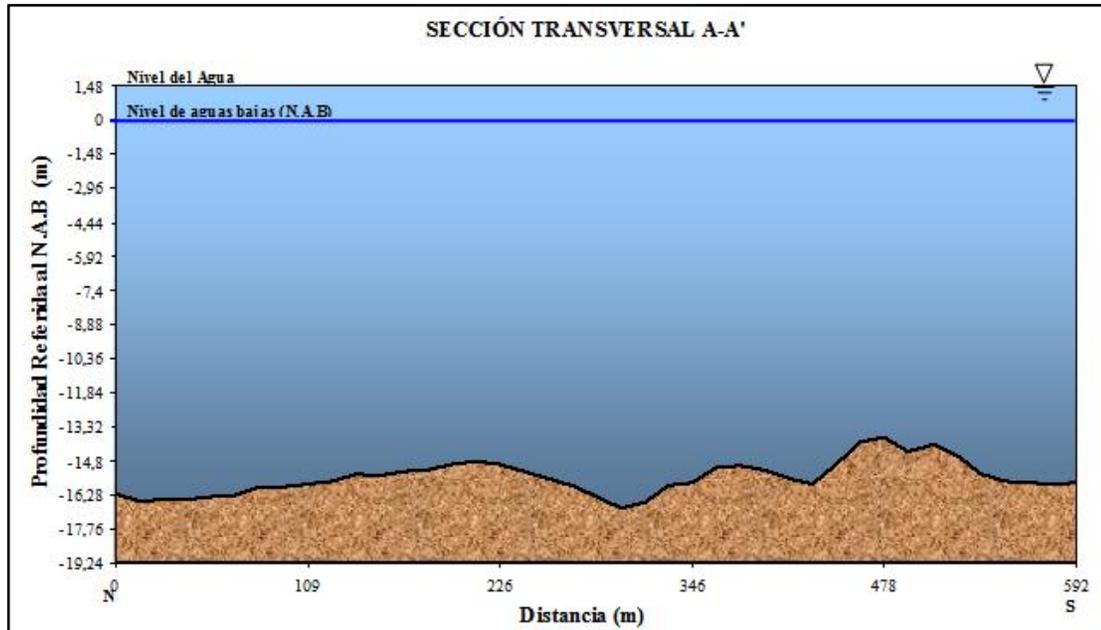


E.3 Modelo tridimensional del sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9, plano N° OODB-7591, correspondiente a la fecha 03/09/2012.

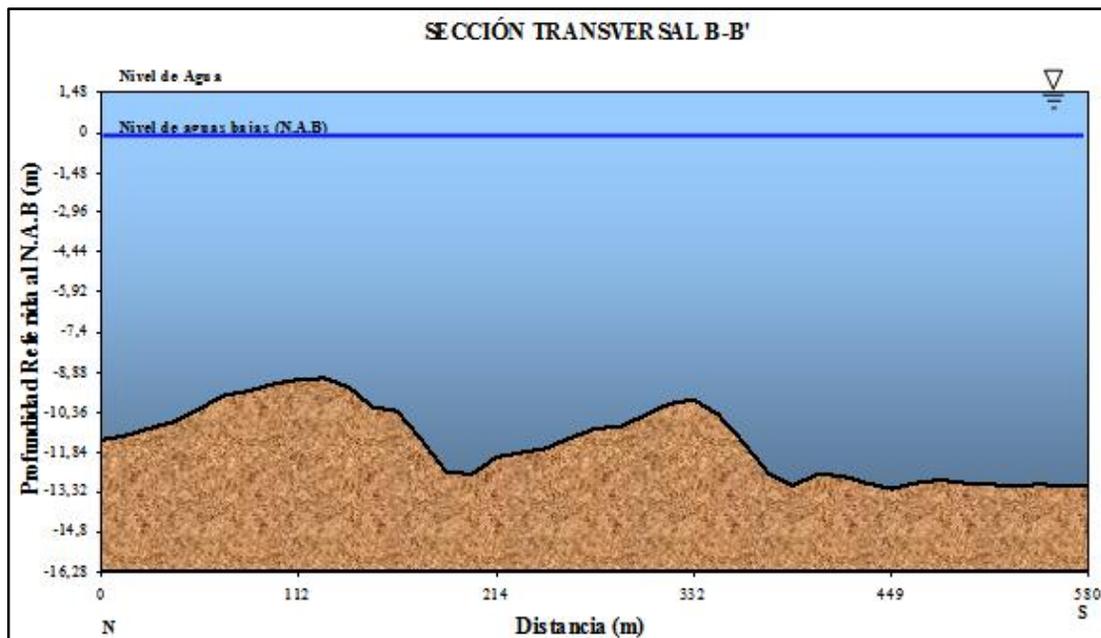


E.4 Modelo tridimensional del sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9, plano N° OODB-5655, correspondiente a la fecha 25/10/2002.

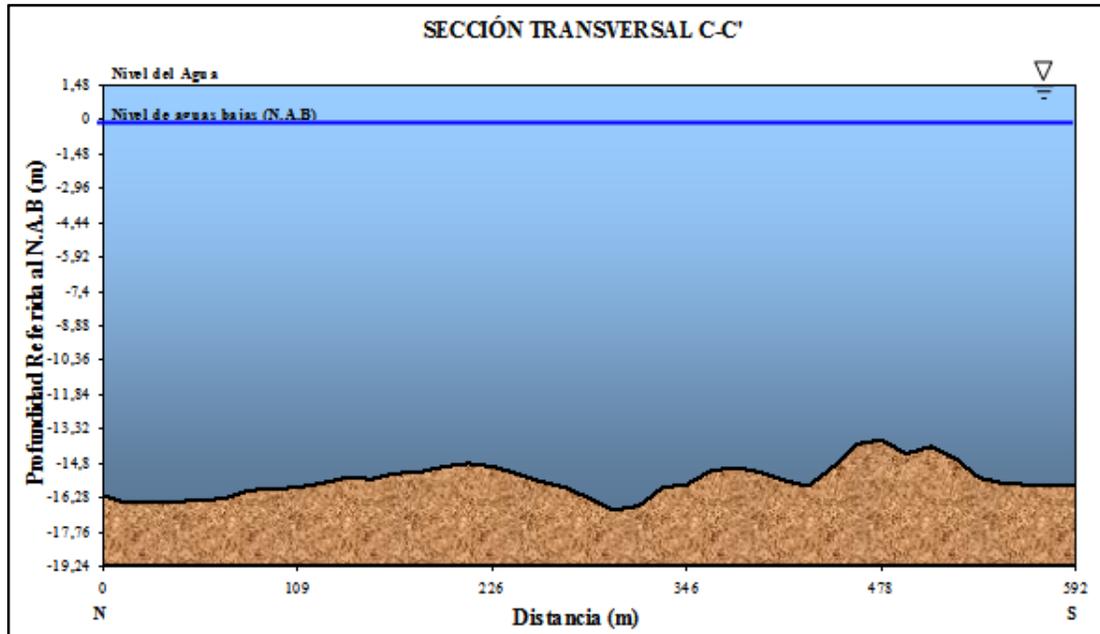
APÉNDICE F
SECCIONES TRANSVERSALES DEL LECHO



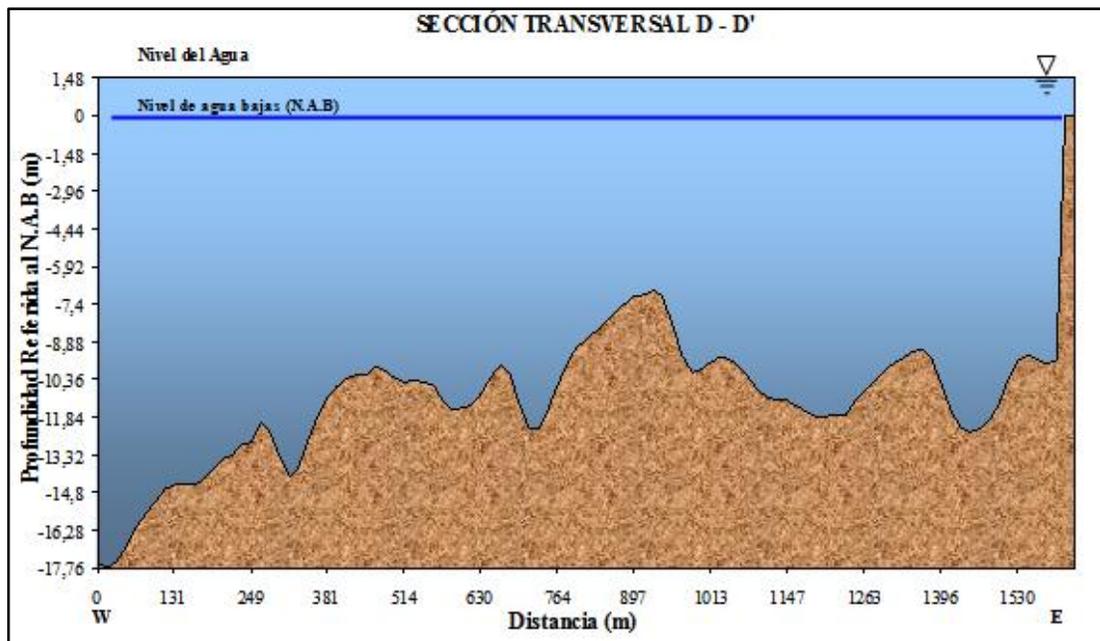
F.1. Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. Plano batimétrico N° OODB-7366, del 07/05/2011.



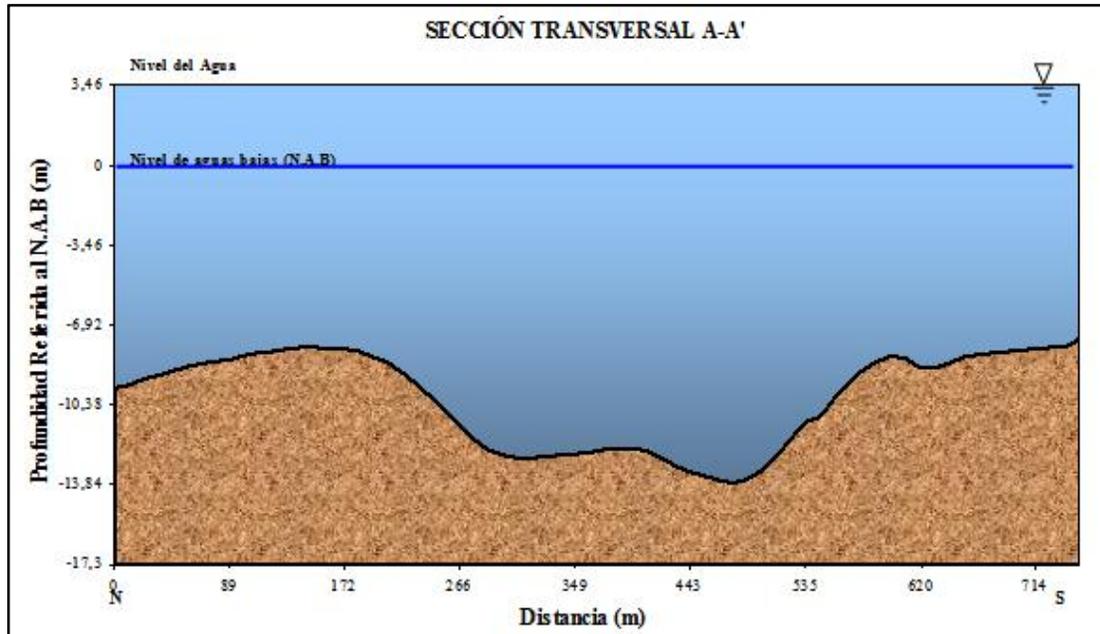
F.2 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7366, del 07/05/2011.



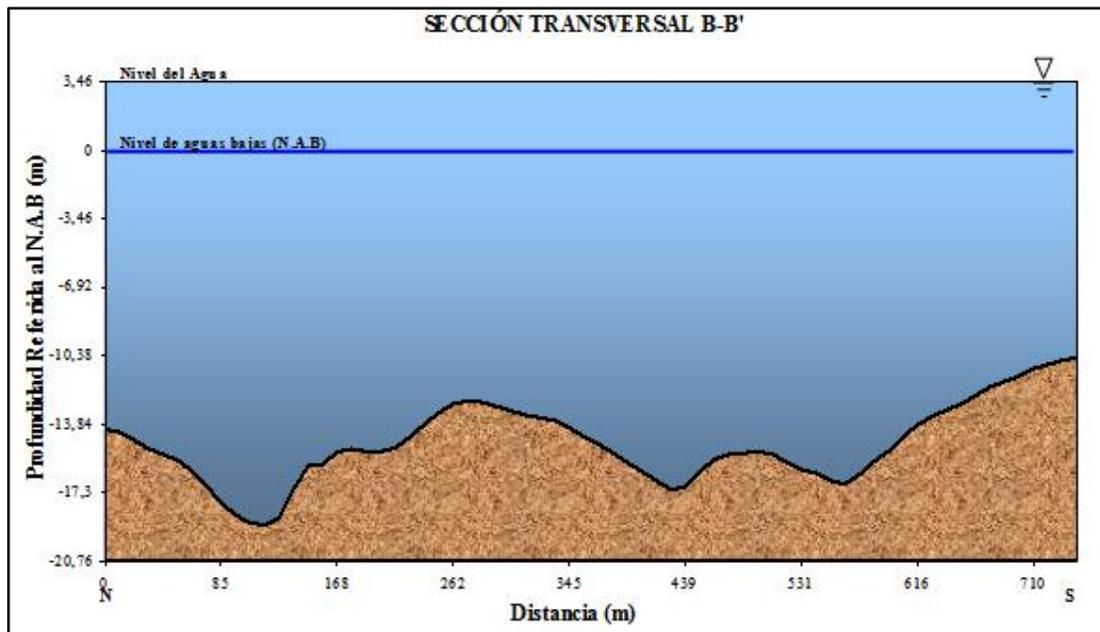
F.3. Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7366, del 07/05/2011.



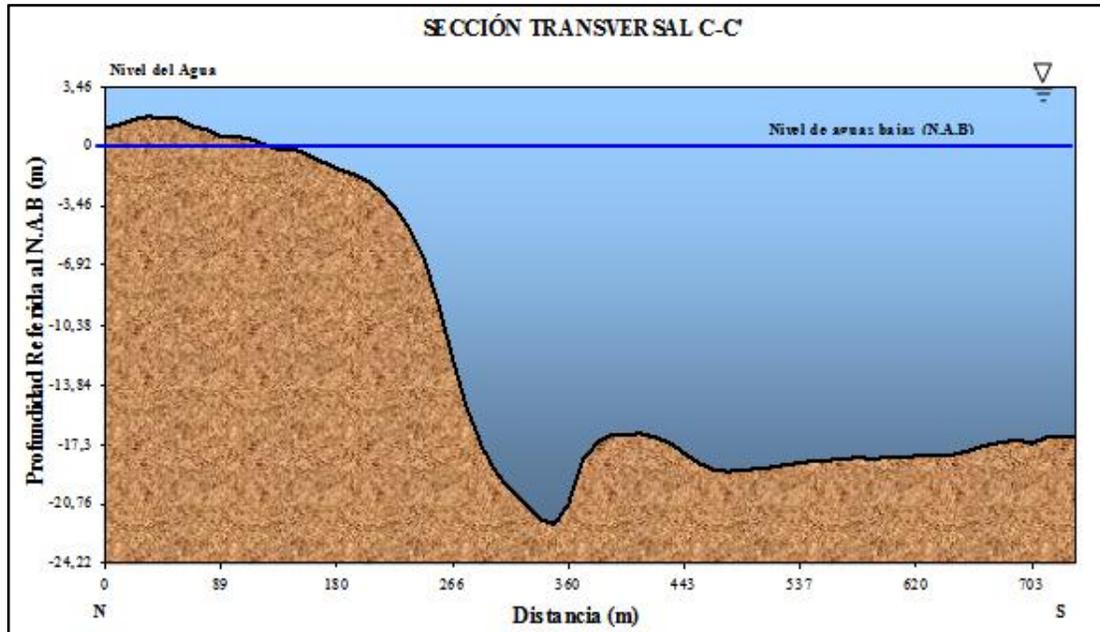
F.4 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7366, correspondiente a la fecha 07/05/2011.



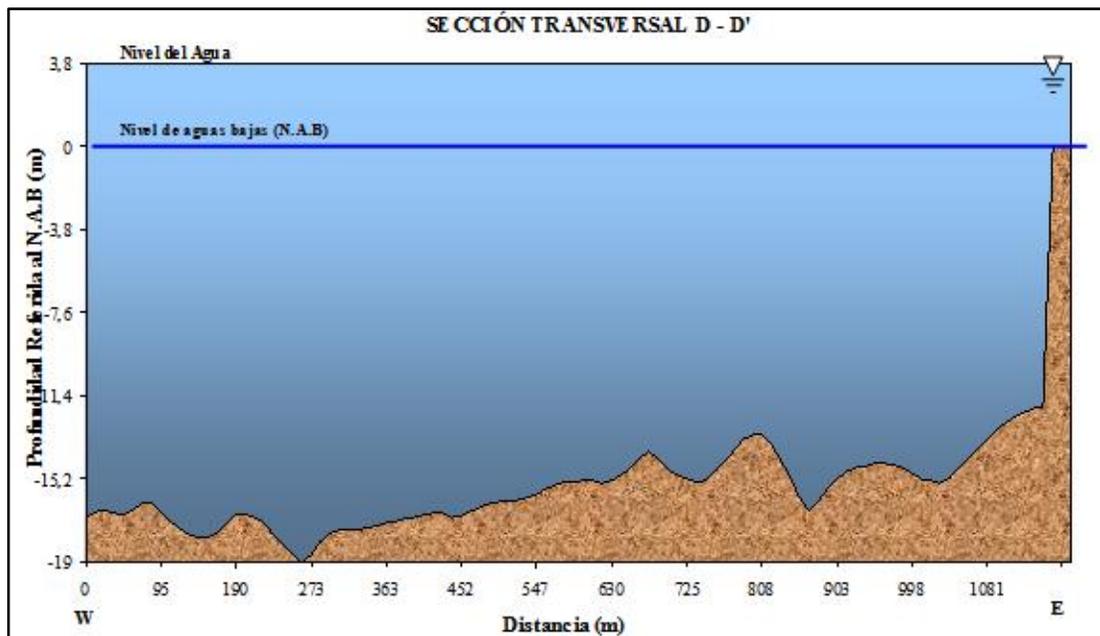
F.5. Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7456, del 07/10/2011.



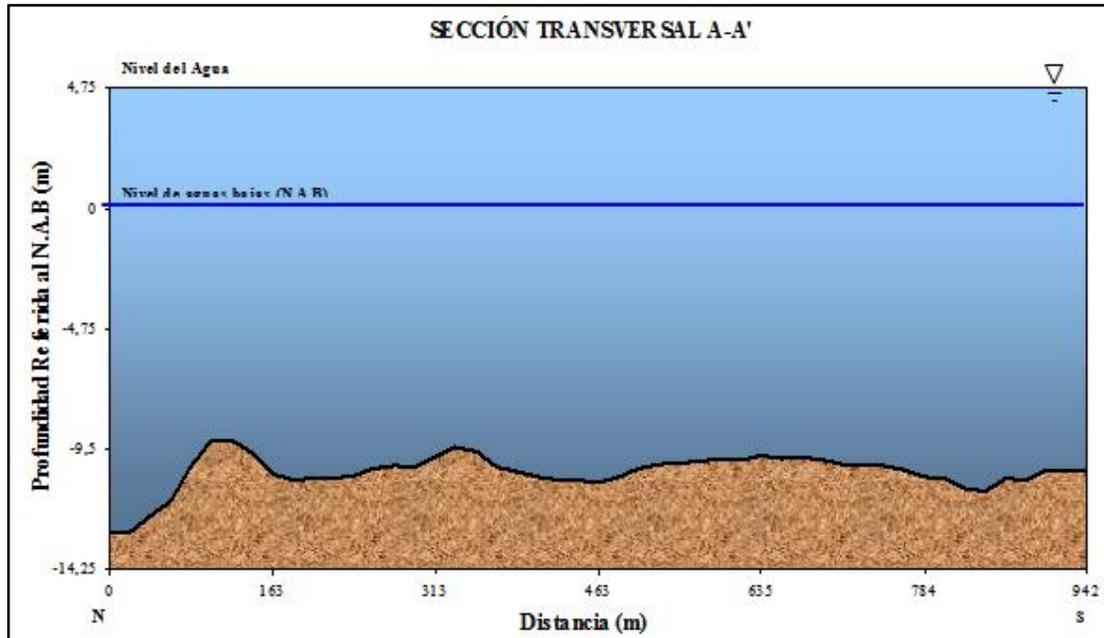
F.6. Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7456, correspondiente a la fecha 07/10/2011.



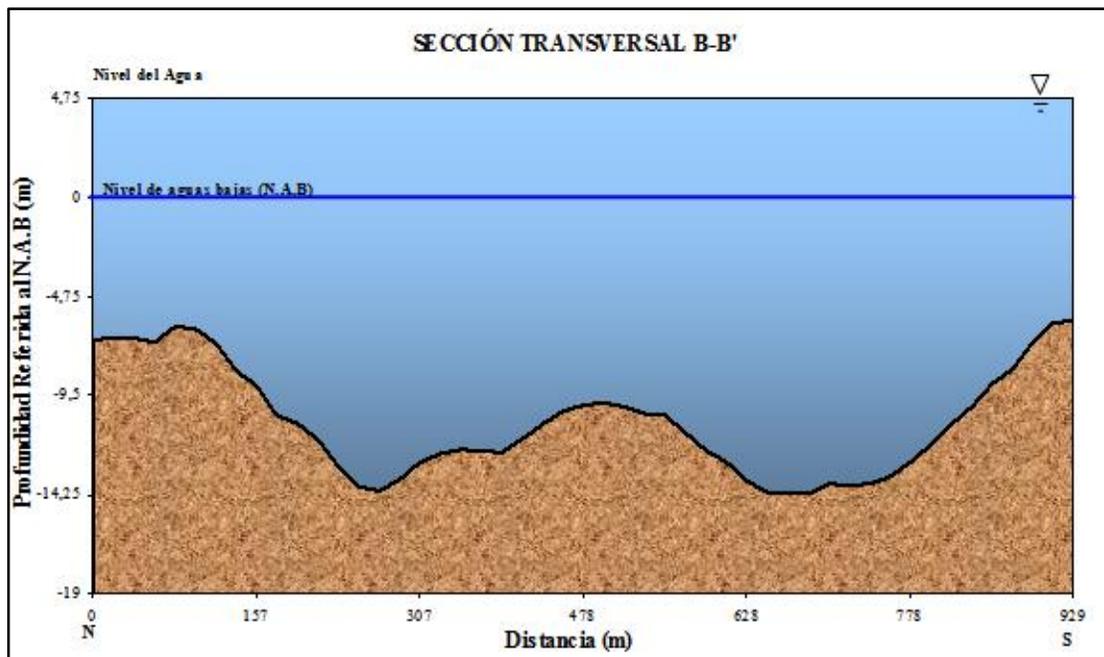
F.7 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7456, del 07/10/2011.



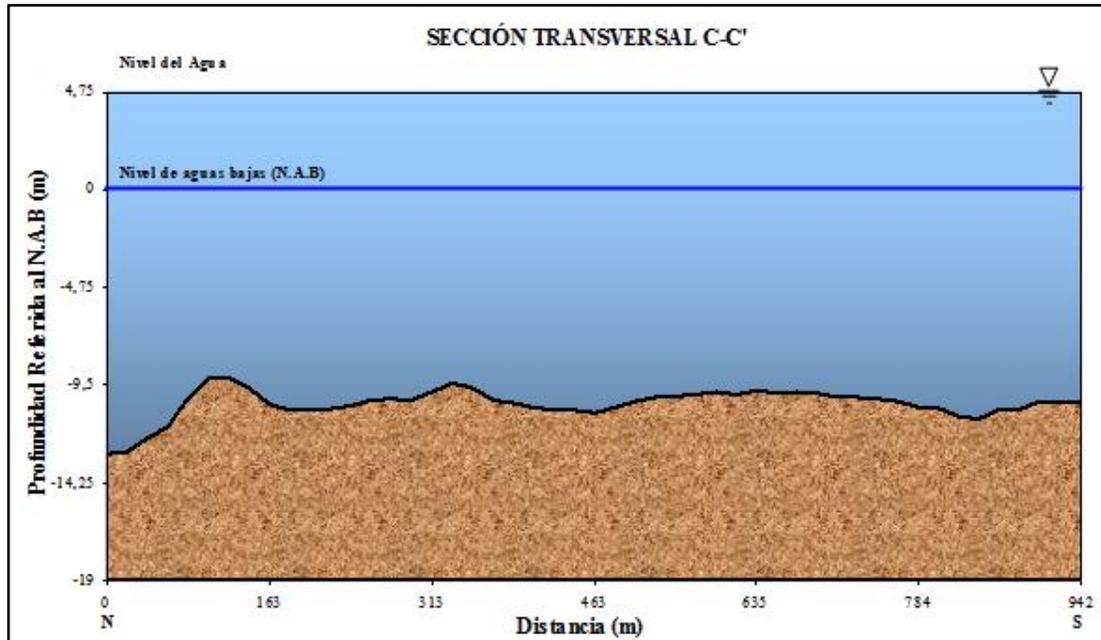
F.8 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7456, correspondiente a la fecha 07/10/2011.



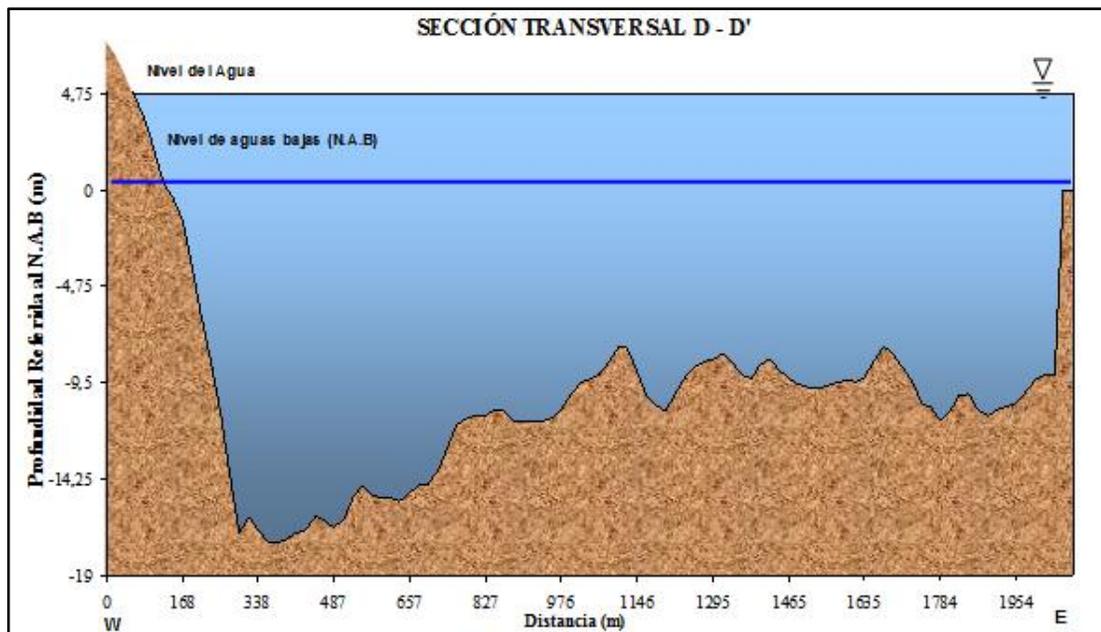
F.9 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7591, del 03/09/2012.



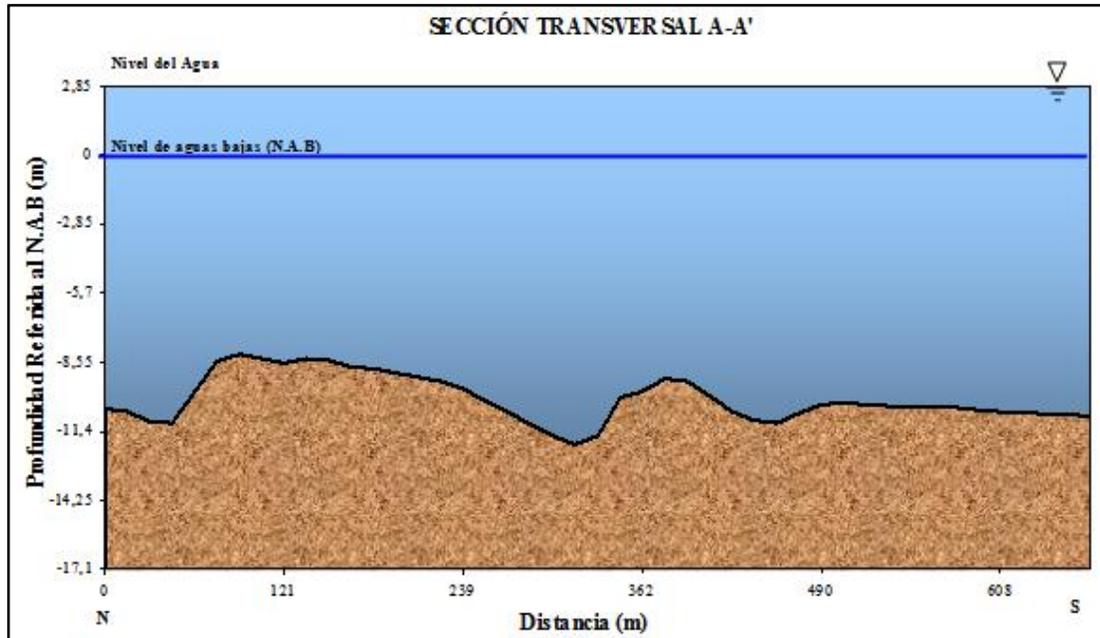
F.10 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7591, del 03/09/2012.



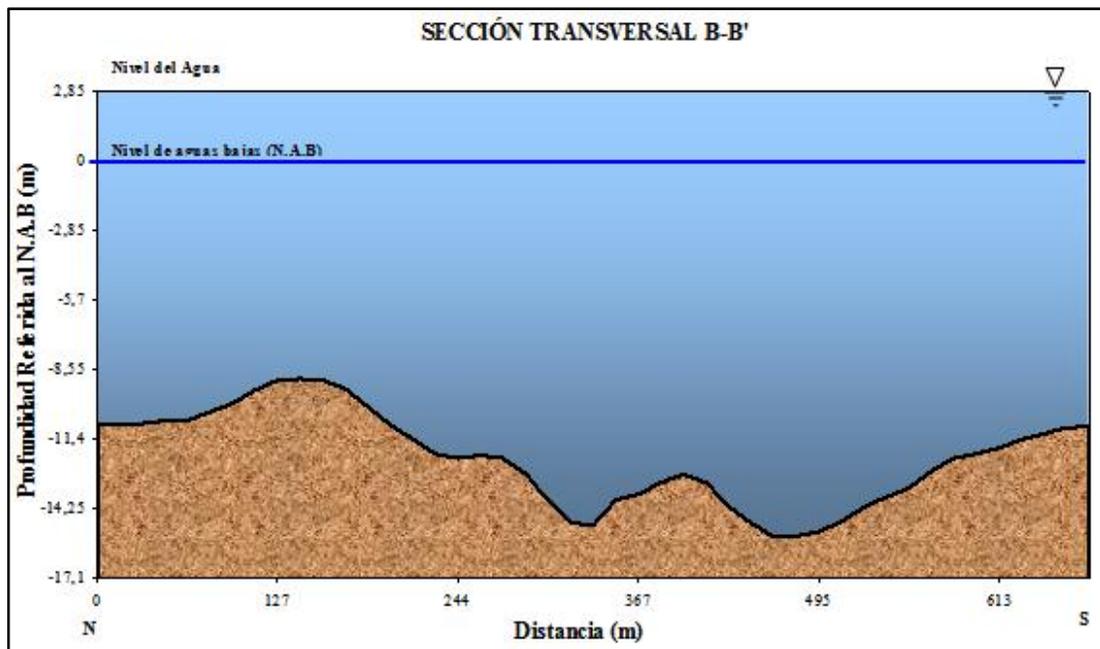
F.11 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7591, del 03/09/2012.



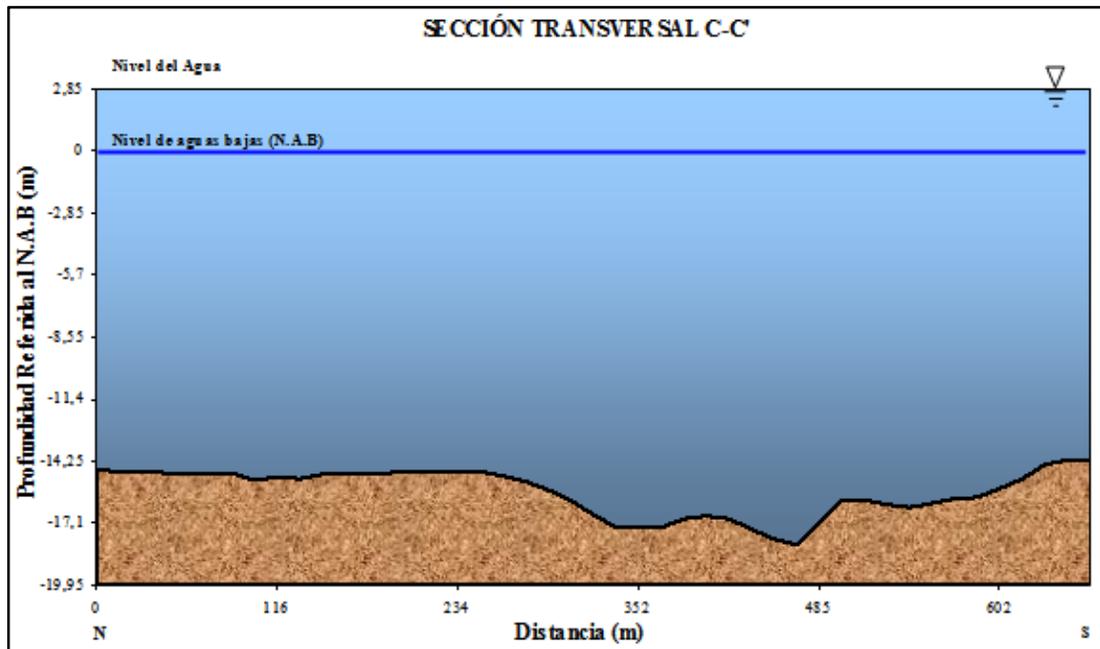
F.12 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7591, del 03/09/2012.



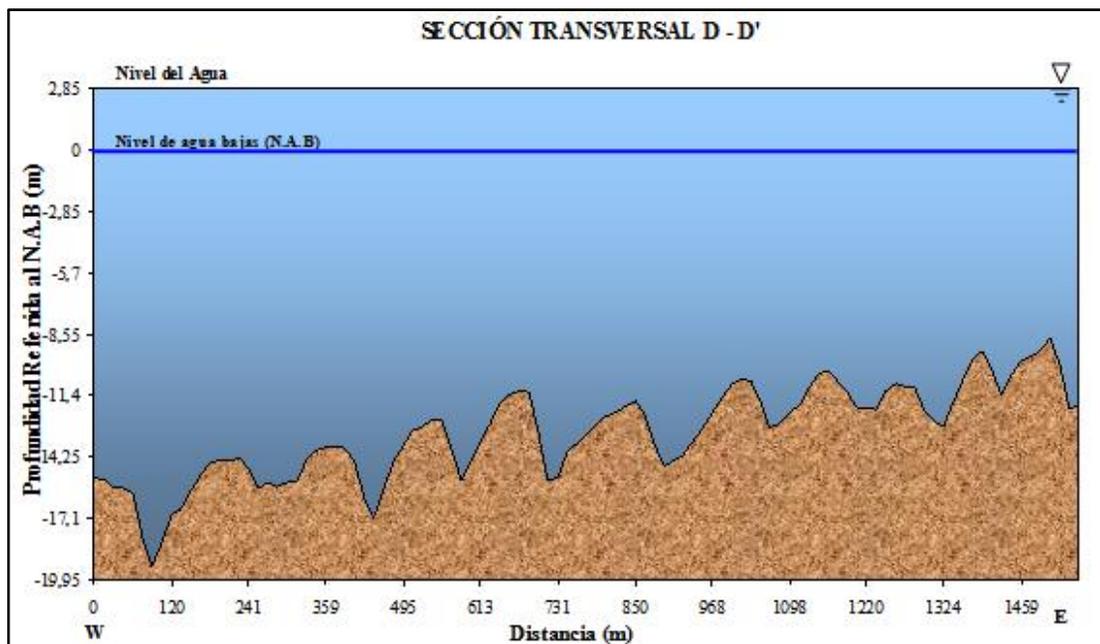
F.13 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7655, del 25/10/2012.



F.14 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7655, del 25/10/2012.



F.15 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7655, del 25/10/2012.



F.16 Sección transversal en el sector Guasina del río Orinoco, entre las millas 105.7-106.9. plano N° OODB-7655, del 25/10/2012.

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

Título	ESTUDIO DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS EN EL SECTOR GUASINA DEL RIO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
ANA EMILIA ROMERO GARCÍA	CVLAC	26.870.651
	e-mail	Ana_erg19@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

<i>Movimiento de sedimentos</i>
<i>Barras</i>
<i>Rio Orinoco</i>

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/5

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Sedimentología	Movimiento de sedimentos
Geomorfología	Ambiente fluvial

Resumen (abstract):

Al este de la población de Barrancas del Orinoco, en el brazo Río Grande del delta del río Orinoco en el estado Delta Amacuro, se encuentra el sector Guasina, nombre que adquiere debido a la toponimia de la isla estable más importante del sector. El objetivo del estudio es analizar las formas del lecho del sector Guasina. Para cumplir con este objetivo se efectuó el reconocimiento de campo, la descripción del relieve de las riberas del área, se recolectaron un total de 6 muestras de sedimentos del centro del río, tomadas con un muestreador prismático integrador. Cabe destacar, que estas muestras de suelos fueron trasladadas a los laboratorios de Hidráulica y mecánica de los fluidos de la Universidad de Oriente, donde se les realizó análisis granulométrico, y análisis morfooscópico. Se efectuó una revisión de los registros de los parámetros climáticos del área recopilados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). Se revisaron las condiciones del flujo mediante el análisis de los registros de aforos, efectuados por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC), en la sección de aforo más cercana del área de estudio. Se determinó las condiciones de movimiento incipiente de las partículas mediante el modelo de Hjulstrum, se determinó el mecanismo de transporte predominante en el sector por medio del método de Visher. Finalmente se efectuaron modelos digitales del lecho y se trazaron secciones transversales a partir de los planos batimétricos con la finalidad de visualizar las formas del lecho presentes en el área de estudio. Como resultados relevantes se encontró que: de acuerdo a los análisis de distribución granulométrica según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, los sedimentos analizados son arenas mal gradadas (SP). El análisis morfooscópico determinó que la forma predominante de las partículas integrantes de estos sedimentos, son sub-angulosas y sub-redondeadas, indicando que los sedimentos son reabajados y estos han sufrido de poco a moderado transporte hasta el lugar de su depositación y que son sedimentos jóvenes. Mientras que el método de transporte utilizado por los sedimentos se produce en promedio: por tracción en 5%, saltación en 80%, y por suspensión en 15%. Asimismo el método de Hjulstrum indicó que los sedimentos predominantes se pondrían en movimiento cuando la velocidad del flujo del río, sea superior a 76 cm/s. Finalmente, se determinó que existe marcada presencia de dunas en toda la extensión del sector que muestran una altura aproximada entre 0.5 m a 3.5 m y una longitud de onda entre 50 m y 150 m aproximadamente. Estas presentan una morfología orientada en dirección Norte – Sur con una dirección de avance Oeste – Este (sentido predominante del flujo).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail
Dafnis José Echeverría Díaz	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
Beatriz C Echeverria	ROL CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC 21.013.748
	e-mail echeverriabcc92@gmail.com
	e-mail
Francisco Monteverde	ROL CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC 21.013.748
	e-mail Beitacaro92@gmail.com
	e-mail

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2022	10	

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Movimiento sedimentos sector Guasina-(Ana Romero).doc	Application/msword

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

Alcance:

Espacial: Río Orinoco, Estado Bolívar (Opcional)

Temporal: Año 2022 (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio: GEOLOGÍA

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

Universidad de Oriente

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

Derechos:

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

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

ANA EMILIA ROMERO GARCÍA
CI. No. 26.870.651
AUTOR

DAFNIS J. ECHEVERRÍA D.
C.I. No. 4.506.408
TUTOR