

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



**ANÁLISIS DEL FLUJO DE SEDIMENTOS Y DE LAS ÁREAS DE  
DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVAS EN EL SECTOR  
YAYA DEL RÍO ORINOCO. ESTADO MONAGAS. VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LA  
BACHILLER:  
GARCÍA ACUÑA, JESSICA  
CORELIS. PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO  
GEÓLOGO**

**CIUDAD BOLÍVAR, MARZO 2011**

## HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, intitulado “ANÁLISIS DEL FLUJO DE SEDIMENTOS Y DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVAS EN EL SECTOR YAYA DEL RÍO ORINOCO. ESTADO MONAGAS. VENEZUELA.”, presentado por la bachiller **GARCÍA ACUÑA, JESSICA CORELIS**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombres:

Firmas:

Profesor Dafnis Echeverría

\_\_\_\_\_  
(Asesor)

\_\_\_\_\_  
Profesor Enrique Acosta  
Jefe del Departamento de Geotecnia  
Ciudad Bolívar, Marzo de 2011.

## **DEDICATORIA**

A Tí Señor Dios, quien me ha ayudado a superar dificultades, me ha cuidado y ha estado a mi lado en todo momento.

A mi madre, Eloisa Acuña, quien con esfuerzo me ha levantado y educado de la mejor manera posible, a tí te la dedico por ser la mejor madre que Dios me pudo dar.

A mi padre, Pedro García, sé que donde estés celebras este logro conmigo.

A mi hermanita, el mejor regalo que me ha podido dar la vida, te amo.

Al papá que Dios dejó en la tierra para que cuidara de mi, Héctor Acuña, quien ha estado ahí cuando lo he necesitado y me ha brindado todo el amor que se le puede dar a su sobrina adorada.

A la familia García, sé que su alegría es tan grande como la mía. Abuelos, tíos, primos, esto también es para ustedes.

Jessica. C, García. A.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la virtud del conocimiento y desenvolverme en el ámbito académico.

A la Universidad de Oriente Núcleo de Bolívar, por ser la casa mal alta de estudios y por permitirme desarrollarme como profesional.

Al profesor Dafnis Echeverría, por aceptar guiarnos como tutor, por prestarnos de su valioso tiempo para asesorarnos, por el aprendizaje que nos ha impartido y el apoyo durante la elaboración de este trabajo.

Al Instituto Nacional de Canalizaciones (INC), en especial a las ingenieras María Cueto y Eulenis González de la División Control de Producción de la Gerencia Canal del Orinoco, por su grata colaboración y disposición amable al facilitarnos la información necesaria e indispensable para llevar a cabo el desarrollo de esta investigación.

A esos familiares que siempre estuvieron ahí y creyeron en mí.

A mis amigas, por su apoyo y ayuda brindada en el momento que la necesité, Anriett, Herlis, Luriani, Jessica y Mora, gracias por todo.

Jessica. C, García. A.

## RESUMEN

Este trabajo tiene por objetivo principal la evaluación del flujo de sedimentos en el sector Yaya del río Orinoco, en el estado Bolívar, y así conocer su comportamiento hidrodinámico a fin de tener la base necesaria para ubicar áreas de descarga en dicho sector. El desarrollo se llevó a cabo realizando revisión bibliográfica, de informes técnicos, trabajos de investigación previos y planos del área de estudio, para obtener información tal como planos costa a costa, tasas de sedimentación, niveles del río; también se utilizaron diagramas para análisis de movimiento del flujo (Hjulstrom, Shields y Van Rijn). Así mismo, se emplearon los programas que permiten realizar cálculos hidráulicos unidimensionales y modelado de la superficie del agua como lo son Hec-ras y SMS respectivamente. De lo anterior, resultó que las profundidades a lo largo del sector Yaya varían entre 16 y 34 m., el nivel del río en estiaje es de 0.36m. y en época de aguas altas es de 8.13 m., el gasto máximo se encuentra entre 2660.73 m<sup>3</sup>/s y 24137.40 m<sup>3</sup>/s, la pendiente hidráulica del tramo en estudio es de 0.00045719 y su pendiente del lecho es de 0.002, el Radio Hidráulico es de 14.2771 m., el coeficiente de rugosidad de Manning arrojado por Hec-ras es de 0.04; el suelo presente está constituido por una arena fina limosa mal gradada cuya cohesión es nula, este material ha sufrido poco transporte, demostrado por el análisis de forma, ya que presenta la mayoría de sus partículas son subangulosas. Los sedimentos encontrados, según el diagrama de Shields, están en movimiento con una velocidad de características turbulentas. Por la velocidad media del flujo en el sector Yaya del río Orinoco, que es de 0,78 m/s, las partículas se encuentran en erosión. De acuerdo al diagrama de Van Rijn, los sedimentos están en movimiento e iniciando la suspensión, según la curva de Shields. Se ubicaron dos áreas de descarga, la primera aguas arriba con una profundidad promedio de 10,24 m, un área de 735.350 m<sup>2</sup> para una capacidad de 477.977,5 m<sup>3</sup> en aguas bajas y 6.191.647 m<sup>3</sup> en aguas altas con velocidades registradas entre 1.57 y 2.01 m/s; la segunda zona de bote cuenta con profundidades entre 10.5 y 13.2 m., su área es de 269.993,18 m<sup>2</sup>, su capacidad es de 1.196.069,79 m<sup>3</sup> en estiaje y 3.293.916,8 m<sup>3</sup> en aguas altas, y sus velocidades oscilan entre 1,45 y 1,49 m/s.

## CONTENIDO

	Página
HOJA DE APROBACIÓN .....	2
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN.....	iv
CONTENIDO .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABLAS .....	x
LISTA DE APÉNDICES .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR .....	3
1.1 Situación objeto de estudio.....	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	4
1.2.1 Objetivo general .....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Justificación de la investigación .....	5
1.4 Alcance de la investigación .....	5
CAPÍTULO II .....	6
GENERALIDADES .....	6
2.1 Ubicación geográfica del área .....	6
2.2 Caracterización climática.....	7
2.2.1 Clima .....	7
2.3 Caracterización biótica .....	7
2.3.1 Vegetación.....	7
2.3.2 Fauna .....	8
2.4 Caracterización hidrológica.....	9
2.4.1 Condiciones del río Orinoco .....	9
2.4.2 Hidrografía del río Orinoco.....	10
2.4.3 Hidrología superficial.....	11
2.5 Geología regional.....	11
2.5.1 Complejo Imataca .....	11
2.5.2 Formación Mesa.....	13
2.5.3 Depósitos aluvionales.....	14
2.6 Geología local.....	14
CAPÍTULO III .....	16
MARCO TEÓRICO.....	16
3.1 Antecedentes de la investigación.....	16
3.2 Bases teóricas.....	18

3.2.1 Geomorfología fluvial .....	18
3.2.2 Propiedades de los sedimentos .....	18
3.2.3 Estructuras fluviales .....	19
3.2.4 Transporte de sedimentos .....	20
3.2.5 Trazado de un río.....	21
3.2.6 Ecuación de Manning.....	22
3.2.7 Selección del Coeficiente de rugosidad de Manning .....	23
3.2.8 Movimiento incipiente de las partículas en corriente.....	23
3.2.9 Niveles del río .....	29
3.2.10 Dragado .....	29
3.2.11 Dragas.....	30
3.2.12 Dragas hidráulicas .....	30
3.2.13 Radio hidráulico .....	31
3.2.14 Programa HEC-RAS .....	32
3.2.15 Programa SMS (Surface Water Modeling System) .....	32
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>34</b>
<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO.....</b>	<b>34</b>
4.1 Nivel de investigación .....	34
4.2 Diseño de la investigación .....	34
4.3 Población y muestra.....	35
4.3.1 Población.....	35
4.3.2 Muestra.....	35
4.4 Técnica e instrumentos implementados .....	35
4.4.1 Técnicas.....	35
4.4.2 Instrumentos .....	36
4.5 Flujograma de la metodología .....	36
4.6 Descripción del flujograma de la investigación.....	37
4.6.1 Fase I Recolección y revisión del material bibliográfico .....	37
4.6.2 Fase II Descripción de la morfología del lecho.....	38
4.6.3 Fase III Descripción de los parámetros hidráulicos .....	38
4.6.4 Fase IV Análisis del movimiento de los sedimentos.....	44
4.6.5 Fase V Análisis de las posibles áreas de descarga disponibles para el sector Yaya .....	44
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>49</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
5.1 Descripción de la morfología del área de estudio.....	49
5.2 Descripción de los parámetros hidráulicos .....	51
5.2.1 Hidrograma del sector Yaya.....	51
5.2.2 Correlación de niveles, caudal y velocidades.....	52
5.2.3 Pendiente hidráulica y pendiente del lecho .....	53
5.2.4 Determinación del radio hidráulico.....	53
5.2.5 Coeficiente de rugosidad de Manning.....	54

5.3 Caracterización geotécnica de los materiales del lecho del río del sector Yaya del río Orinoco .....	55
5.3.1 Clasificación granulométrica de los materiales del lecho .....	55
5.3.2 Ángulo de fricción interna del material del lecho del sector Yaya.....	55
5.3.3 Análisis de forma de las partículas del lecho del sector de estudio .....	56
5.4 Análisis del movimiento de los sedimentos producidos en el sector Yaya .....	56
5.4.1 Modelo de Shields .....	57
5.4.2 Modelo de Van Rijn .....	57
5.4.3 Modelo de Hjulstrom .....	58
5.5 Evaluación y ubicación de áreas de descarga sugeridas para el sector Yaya .....	59
5.5.1 Área de descarga aguas arriba del sector Yaya .....	59
5.5.2 Área de descarga aguas abajo del sector Yaya.....	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
REFERENCIAS.....	67
APÉNDICES.....	70

## LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación relativa del sector Yaya en el canal de navegación del río Orinoco ( <a href="http://maps.google.es/">http://maps.google.es/</a> ) .....	6
3.1 Trazados de un río (Church, M. 1992).....	22
3.2 Diagrama de Shields para movimiento incipiente (Vanoni, 1975 en Yang, C. 1996).....	25
3.3 Criterio erosión-depositación para partículas uniformes (Hjulstrom, 1935 en Yang, C. 1996).....	27
3.4 Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho (Van Rijn, L. 1989).....	28
4.1 Flujograma de la metodología.....	367
4.2 Tabla detallada de salida generada por el programa HEC RAS. ....	40
4.3 Ventana principal del programa. ....	40
4.4 Trazado del sector YAYA.....	401
4.5 Asignación de los valores de una sección del tramo.....	41
4.6 Esquema en planta del tramo. ....	42
4.7 Ventana para datos de flujo.....	423
4.8 Ingresando el nivel de agua para el caudal.....	43
4.9 Análisis del flujo en el tramo de estudio.....	434
4.10 Perspectiva en x-y-z. ....	44
4.11 Pantalla principal del SMS.....	45
4.12 Arcos de rasgo formados.....	456
4.13 La malla ya formada.....	467
4.14 Ingresando la batimetría.....	47
4.15 Desplegando la solución hidrodinámica. ....	48
5.1 Fotografía aérea tomada en el año 1963-64, misión 3, zona 19. (García y Granado, 2.003) .....	50
5.2 Modelo 3D del lecho del sector Yaya del Canal de Navegación del río Orinoco. ....	51
5.3 Hidrograma de niveles promedios, máximos y mínimos en la milla 136,5 del sector Yaya.....	52
5.4 Correlación de caudales, niveles y velocidades en la sección de aforo Final Isla Varadero en la milla 139,2 del sector Yaya. ....	52
5.5 Representación del análisis de forma correspondiente a las muestras, tomadas en las millas 135.5, 138.4 y 139.1, del sector Yaya del Canal de Navegación del río Orinoco .....	56
5.6 Diagrama de Shields para movimiento incipiente (Vanoni, 1975 en Yang, 1996) .....	57

5.8 Criterio erosión-depositación para partículas uniformes (Hjulstrom, 1935 en Yang, C. 1996).....	59
5.9 Variación del volumen del área de descarga en función de los niveles del río.....	60
5.10 Mapa de contornos de velocidad de corriente generado por el programa SMS, indicando el área de descarga N°1 del sector Yaya.....	61
5.11 Variación del volumen del área de descarga en función de los niveles del río.....	62
5.12 Mapa de contornos de velocidad de corriente generado por el programa SMS, indicando el área de descarga N°2 del sector Yaya.....	63

## LISTA DE TABLAS

	Página
5.1 Pendiente hidráulica para el sector Yaya .....	53
5.2 Pendiente del lecho para el sector Yaya.....	53
5.3 Coordenadas del área de descarga del sector Yaya ubicada aguas arriba.....	60
5.4 Coordenadas del área de descarga del sector Yaya ubicada aguas abajo .....	62

## LISTA DE APÉNDICES

	Página
A.1 Curva granulométrica de las muestras tomadas del lecho milla 139.1, del sector Yaya del canal de navegación del río Orinoco.....	70
A.2 Curva granulométrica de las muestras tomadas del lecho milla 138.4, del sector Yaya del canal de navegación del río Orinoco.....	71
A.3 Curva granulométrica de las muestras tomadas del lecho milla 138.9, del sector Yaya del canal de navegación del río Orinoco.....	72
A.4 Representación de Ensayo de Corte Directo no consolidado drenado, con una carga de 100kg, realizado a la muestra tomada en la milla 138.4 del sector Yaya del Canal de Navegación del río Orinoco.....	73
A.5 Representación de Ensayo de Corte Directo no consolidado drenado, con una carga de 200kg, realizado a la muestra tomada en la milla 138.4 del sector Yaya del Canal de Navegación del río Orinoco.....	74
A.6 Representación de Ensayo de Corte Directo no consolidado drenado, con una carga de 400kg, realizado a la muestra tomada en la milla 138.4 del sector Yaya del Canal de Navegación del río Orinoco.....	75
A.7 Representación de Ensayo de Corte Directo no consolidado drenado, con las fuerzas resultantes y el ángulo de fricción interna, realizado a la muestra tomada en la milla 138.4, del Canal de Navegación del río Orinoco.....	76
A.8 Datos generados a partir del análisis de forma de las muestras ubicadas en las millas 135.5, 138.4 y 139.1, perteneciente al sector Yaya del canal de navegación del río Orinoco.....	76
B.1 Niveles máximos, promedios y mínimos de la milla 136.5, durante el periodo 1.943 a 2.009 del canal de navegación del río Orinoco.....	78
B.2 Datos de caudal líquido, velocidad media y niveles del río de la sección de aforo Final I. Varadero, ubicada en la milla 139.2 del sector Yaya.....	78
B.3 Datos de la sección transversal número 1 del sector Yaya perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	79
B.4 Datos de la sección transversal número 2 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	80
B.5 Datos de la sección transversal número 3 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	81
B.6 Datos de la sección transversal número 4 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	82
B.7 Datos de la sección transversal número 5 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	83
B.8 Datos de la sección transversal número 6 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	84

B.9	Datos de la sección transversal número 7 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	85
B.10	Datos de la sección transversal número 8 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	86
B.11	Datos de la sección transversal número 9 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	87
B.12	Datos de la sección transversal número 10 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	88
B.13	Datos de la sección transversal número 11 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	89
B.14	Datos de la sección transversal número 12 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	90
B.15	Datos de la sección transversal número 13 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	91
B.16	Datos de la sección transversal número 14 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	92
B.17	Datos de la sección transversal número 15 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	93
B.18	Datos de la sección transversal número 16 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	94
B.19	Datos de la sección transversal número 17 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	95
B.20	Datos de la sección transversal número 18 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	96
B.21	Datos de la sección transversal número 20 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	97
B.22	Datos de la sección transversal número 19 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	98
B.23	Datos de la sección transversal número 21 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	99
B.24	Datos de la sección transversal número 22 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	100
B.25	Datos de la sección transversal número 23 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	101
B.26	Datos de la sección transversal número 24 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.....	102
B.27	Coordenadas de las secciones transversales del sector Yaya utilizadas para georeferenciar el tramo en estudio utilizadas en el programa de Hec-Ras. ....	103
B.28	Distancias entre las secciones en el margen izquierdo, centro y margen derecho del canal, sector Yaya.....	104
B.29	Datos para el análisis del movimiento incipiente para las partículas del lecho en el sector Yaya. ....	105

B.30	Datos para el análisis de movimiento de las partículas del lecho de acuerdo al modelo de Shields. ....	105
B.31	Datos para el análisis de movimiento de las partículas del lecho de acuerdo al modelo de Van Rijn.....	105
C.1	Sección transversal N° 1 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432). ....	107
C.2	Sección transversal N°2 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432). ....	107
C.3	Sección transversal N°3 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432). ....	107
C.4	Sección transversal N°4 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432). ....	108
C.5	Sección transversal N° 5 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432). ....	108
C.6	Sección transversal N°6 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432). ....	108
C.7	Sección transversal N°7 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432). ....	109
C.8	Sección transversal N°8 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432). ....	109
C.9	Sección transversal N°9 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432). ....	109
C.10	Sección transversal N°10 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433). ....	110
C.11	Sección transversal N°11 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433). ....	110
C.12	Sección transversal N°12 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433). ....	110
C.13	Sección transversal N°13 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433). ....	111
C.14	Sección transversal N°14 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433). ....	111
C.15	Sección transversal N°15 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433). ....	111
C.16	Sección transversal N°16 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433). ....	112
C.17	Sección transversal N°17 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433). ....	112
C.18	Sección transversal N°18 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433). ....	112
C.19	Sección transversal N°19 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433). ....	113

C.20 Sección transversal N°20 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).	113
C.21 Sección transversal N°21 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).	113
C.22 Sección transversal N°22 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).	114
C.23 Sección transversal N°23 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).	114
C.24 Sección transversal N°24 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).	114
C.25 Modelo 3D del lecho para el sector Sacupana, identificando la dirección de las corrientes del río.	115
C.26 Mapa de contorno de velocidades de corriente generado por el programa SMS.	115

## INTRODUCCIÓN

El canal de navegación del río Orinoco cuenta con una longitud de 195 millas náuticas desde Boca Grande hasta Matanzas, en él se erosiona, transporta y deposita gran cantidad de sedimentos, la principal problemática reside en el hecho de que una parte considerable de los sedimentos antes mencionados se depositan alterando las profundidades que deben mantener el canal para el tránsito eficiente de las embarcaciones que por él circulan.

El principal objetivo de este trabajo de investigación radica en la evaluación del flujo de sedimentos en el sector Yaya del canal de navegación del río Orinoco a fin de conocer el comportamiento hidrodinámico de los mismos, seguidamente se evaluarán áreas de descarga para dragas de tolva. Para cumplir con la meta trazada al inicio se deberá realizar la caracterización geológica, climática, biótica y geotécnica del área de estudio, descripción geomorfológica y de los parámetros hidráulicos, por último, se analizará el movimiento de los sedimentos.

Para conocer el volumen exacto de sedimentos que deberá ser removido a la hora de hacer mantenimiento y de esa manera conservar las profundidades idóneas que evitaren la varadura de las embarcaciones que transiten por el sector Yaya, se deberá realizar la descripción de la forma del lecho del río Orinoco en dicho sector.

El presente trabajo consta de cinco capítulos, en el capítulo I se encuentra la situación objeto de estudio, los objetivos tanto general como específicos, justificación y alcance de la investigación; seguidos por el capítulo II, las generalidades del área de estudio, su ubicación geográfica, caracterización biótica e hidrológica y su geología; posteriormente está el marco teórico, capítulo III, que abarca los antecedentes de la investigación y las bases teóricas que fundamentan la investigación; más adelante, en

el capítulo IV, se encuentra la metodología empleada para el desarrollo de este trabajo; luego, en el capítulo V, está el análisis de los resultados producto de la investigación y, finalmente, están las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y apéndices que sustentan el trabajo realizado.

# **CAPÍTULO I**

## **SITUACIÓN A INVESTIGAR**

### **1.1 Situación objeto de estudio**

De acuerdo a estudios realizados por el Instituto Nacional de Canalizaciones sobre el transporte de sedimentos en el río Orinoco este podría sobrepasar los 400 millones de metros cúbicos anuales a todo lo largo de su cauce. Estos materiales se erosionan, transportan y depositan en el río obedeciendo a las condiciones hidrodinámicas y geomorfológicas, presentes las cuales varían a lo largo del ciclo hidrológico anual del río.

Ahora bien, el río Orinoco es utilizado como vía de navegación para el ingreso y salida de gabarras y de buques de gran calado; sin embargo, el continuo proceso de sedimentación dificulta la permanencia de adecuadas profundidades que permitan el tránsito seguro de todas estas embarcaciones. Por ello, es de vital importancia conocer la dinámica sedimentaria que permita programar el diseño y mantenimiento de adecuados canales navegables.

En ese orden de ideas y debido a que el sector Yaya es uno de los sectores más críticos del río Orinoco en cuanto a los volúmenes de sedimentos anualmente, se plantea como problemática de investigación la necesidad de conocer con mayor detalle todos los aspectos involucrados en el flujo de sedimentos en dicho sector.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Analizar el flujo de los sedimentos y las áreas de descarga para dragas de tolvas en el sector Yaya del río Orinoco. Estado Monagas. Venezuela.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- 1.) Caracterizar desde el punto de vista geológico el área de estudio.
- 2.) Describir geomorfológicamente el área de estudio.
- 3.) Describir los parámetros hidráulicos principales del sector Yaya tales como la velocidad y dirección del flujo, el caudal y los niveles de agua.
- 4.) Caracterizar geotécnicamente los materiales del lecho del río en el sector Yaya del río Orinoco.
- 5.) Analizar el movimiento de los sedimentos de acuerdo a los modelos de Hjulstrom, Shields y Van Rijn.
- 6.) Sugerir la ubicación de áreas de descarga de material dragado en el sector Yaya.

### **1.3 Justificación de la investigación**

El objetivo de la investigación es analizar el flujo de sedimentos que circula por el sector Yaya del río Orinoco para conocer el mecanismo de sedimentación en dicho sector, que volumen de sedimentos viajan en suspensión y qué cantidad se deposita; y gracias a la información obtenida efectuar un plan de mantenimiento para conservar profundidades de navegación adecuadas y de esta manera evitar el estancamiento de embarcaciones, de gabarras y buques de gran calado.

### **1.4 Alcance de la investigación**

Realizar una descripción de la forma del lecho del río Orinoco, específicamente en el sector Yaya, para saber el volumen exacto de sedimentos que se deberá extraer al momento de hacer mantenimiento y así conservar las profundidades de navegación idóneas que evitarán el estancamiento de las embarcaciones que transiten por dicho sector.

## CAPÍTULO II GENERALIDADES

### 2.1 Ubicación geográfica del área

El tramo Matanzas – Boca Grande del Canal de Navegación del río Orinoco tiene una longitud total de 195 millas náuticas (301 Km.), medidas desde Boca Grande (milla 0,1) hasta Matanzas (milla 195). (García, A. y Granado, M., 2003).

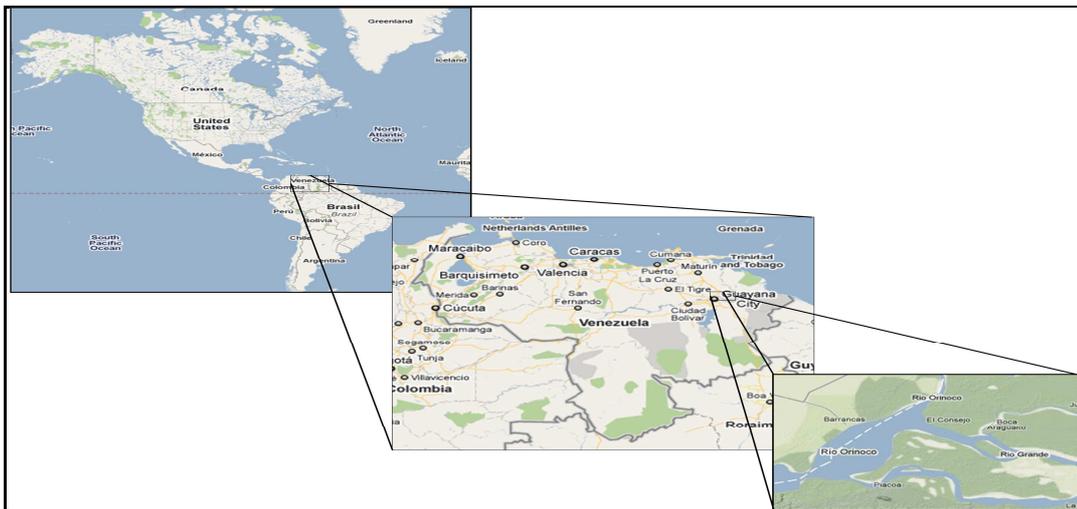


Figura 2.1 Ubicación relativa del sector Yaya en el canal de navegación del río Orinoco (<http://maps.google.es/>)

Dentro de dicho tramo se encuentra el sector Yaya, el mismo se ubica entre las millas 140 y 133, sus coordenadas geográficas son Latitud Norte  $8^{\circ}42'05''$  –  $8^{\circ}39'59''$  y Latitud Oeste  $62^{\circ}08'26''$  –  $62^{\circ}02'15''$ . Este sector está limitado al Norte por el estado Monagas, en su extremo occidental por el caño Tórtola y el sector Barrancas, en su extremo oriental por la Isla Los Tres Caños y en su parte Sur por la Isla Tórtola. (García, A. y Granado, M., 2003).

## **2.2 Caracterización climática**

### **2.2.1 Clima**

Según Consultora INGENIERIA CAURA S.A., 1994, (uno de los muchos organismos preocupados por estudiar las características del clima), el bioclima de la zona en estudio se puede clasificar como Bosque Seco Tropical (bs-T), que se observa desde la milla 85 hasta el puerto de Matanzas en la milla 195. En general se observan sólo dos estaciones de 3 a 4 meses secos y de 8 a 9 meses húmedos (García, A. y Granado, M., 2003).

La temperatura promedio permanece prácticamente inalterable a lo largo de este tramo del canal de navegación del río Orinoco y está por el orden de los 22,7°C, alcanzando en algunas ocasiones una temperatura máxima 33,5°C, (Base de Datos Hidrometereológicos, Estación Macagua, 2002). La precipitación varía en forma descendente a lo largo del canal, con un valor de 2200 mm., en la milla 30, hasta un valor de 950 mm. en la población de Matanzas. Los valores de la evaporación media anual y de la evapotranspiración son constantes a lo largo del canal con valores cercanos a los 1700 mm. y 1300 mm. respectivamente. (García, A. y Granado, M., 2003).

## **2.3 Caracterización biótica**

### **2.3.1 Vegetación**

Para la caracterización de la vegetación en el tramo en estudio se tomaron datos de la descripción realizada por la Consultora INGENIERIA CAURA S.A., 1994, la cual tomó como patrón las riberas del río: ribera norte y ribera sur, por lo cual el tipo

de vegetación que conseguimos en ambas riberas es diferente, cada ribera presenta características propias. (García, A. y Granado, M., 2003).

Parte de la cubierta vegetal ha sido eliminada para el uso de la tierra en la actividad agrícola y para asentamientos rurales y suburbanos, el resto que no ha sido deforestada, está ocupada por herbazales inundados. (García, A. y Granado, M., 2003).

### **2.3.2 Fauna**

En cuanto a la fauna silvestre, el estado Bolívar tiene sus especies características que habitan en los territorios del Sur del río Orinoco. Los organismos encargados del monitoreo de las especies (los museos de Rancho Grande, Historia Natural y La Salle), han reportado la existencia de 212 especies de mamíferos pertenecientes a 31 familias, de las cuales 37 especies presentan un interés económico y cinegético. Existen varias especies amenazadas de extinción, por la acción indiscriminada del hombre. (García, A. y Granado, M., 2003).

La fauna es rica en número y especies, destacándose entre los mamíferos el manatí, especie en peligro de extinción, poblaciones de dantas, venados, jaguares, perros de agua, toninas, chigüiros. (García, A. y Granado, M., 2003).

En los estuarios, puntos de encuentro de las aguas dulces y saladas, existe ictiofauna variada. Caimanes, muchas especies de reptiles (la serpiente anaconda y la baba), peces, anfibios y crustáceos. (García, A. y Granado, M., 2003).

En la zona existe una gran variedad de aves, aproximadamente 1108 especies, de las cuales 41 representan interés cinegético y económico, entre las que se destaca aves como la corocora, los patos reales, considerada como especie vulnerable muy

perseguida por su carne, el gavilán de manglar, extinto localmente en otras regiones y muy restringido en el oriente del país. También hay que destacar la importancia del lugar como paso de aves migratorias. (García, A. y Granado, M., 2003).

## **2.4 Caracterización hidrológica**

### **2.4.1 Condiciones del río Orinoco**

El Orinoco es el tercer río en el mundo de acuerdo a su descarga ( $36000 \text{ m}^3/\text{s}$ ), con una cuenca de  $1110000 \text{ km}^2$  compartida entre Venezuela y Colombia. Su planicie de inundación a lo largo del canal principal tiene aproximadamente  $7000 \text{ km}^2$ , de los cuales 80% aproximadamente está cubierto por bosque macrotérmico de tierras bajas. El curso entero del río no está represado (aunque ha ocurrido una regulación substancial en ciertos tributarios y en el caño Mánamo en su delta). (García, A. y Granado, M., 2003).

El río presenta una capacidad enorme de variación, debido no sólo a los cambios estacionales sino también a los efectos derivados de la interacción entre la topografía del fondo, las riberas y la corriente del río. La interacción de estos factores favorecen o limitan las condiciones de mezcla, así como también la resuspensión o hundimiento de las masas de agua y los sedimentos (García, A. y Granado, M., 2003).

El Orinoco, además de variar su caudal considerablemente en un año, también puede presentar diferencias en el nivel de un año a otro, dependiendo del régimen de lluvias; estas condiciones contribuyen a la variabilidad de la concentración de los contribuyentes químicos de sus aguas, ya que la extensión del área inundada no siempre es la misma, produciéndose alteraciones en el intercambio río – planicie de inundación, lo cual afecta a su vez el transporte de materiales y el flujo de masas (Consultora Ingeniería Caura, S.A., 1.994).

## 2.4.2 Hidrografía del río Orinoco

El río Orinoco posee una longitud aproximada del cauce principal de 2063 km. y una cuenca que abarca los estados Anzoátegui, Bolívar, Monagas, Amazonas, Apure, Delta Amacuro y Guárico. Tiene una superficie aproximada de 990000 km<sup>2</sup>, desde su nacimiento hasta el delta (Consultora Ingeniería Caura, S.A., 1994). El caudal medio del Orinoco es aproximadamente 30000 m<sup>3</sup>/seg., con una descarga de 1100 millardos de m<sup>3</sup>, que lo ubica como el tercero entre los más caudalosos del mundo. (García, A. y Granada, M., 2003).

El Orinoco presenta a lo largo de su cauce y especialmente en su desembocadura una serie de caños, brazos y quebradas que representan un sistema de aguas superficiales permanentes. Sus límites se encuentran demarcados por tres caños: Río Grande que se dirige hacia el Este y el sistema de caños Macareo y Mánamo, que se dirigen hacia el Norte.

El canal de navegación del río Orinoco se divide en dos grandes tramos: Tramo Jobal–Matanzas y Tramo Matanzas–Boca Grande. Este último, donde se ubica el área de estudio, se puede dividir en dos partes (García. A y Granado. M, 2003):

2.4.2.1 Canal interior: ubicado entre las millas 194 y 42 con respecto al cero en Río Grande. El nivel de agua varía principalmente por los cambios que se producen en el ciclo hidrológico del Orinoco a lo largo del año, y la sedimentación se produce principalmente en los periodos de aguas medias y bajas (García. A y Granado. M, 2003).

2.4.2.2 Canal exterior: ubicado entre las millas 42 y 0. La superficie del agua varía por efecto de las mareas y la sedimentación se produce durante todo el año.

### **2.4.3 Hidrología superficial**

Las aguas del río Orinoco fluctúan regularmente todos los años como consecuencia de la variación estacional de las lluvias en la gran cuenca del río. El ascenso se inicia a fines de marzo o comienzos de abril y continúa normalmente hasta el mes de agosto, con algunos recesos ocasionales. El declinamiento del hidrograma comienza en septiembre y continúa con bastante regularidad hasta marzo. Las fluctuaciones anuales extremas difieren poco, tanto para los máximos como para los mínimos. (García, A. y Granado, M., 2003).

Durante el régimen de aguas mínimas (enero-marzo), los niveles del río en Palúa bajan. Se registran entonces períodos de marea en todos los brazos del Delta, con amplitudes de sicigia de alrededor de un metro en la bifurcación del brazo Macareo. La influencia de las mareas se desplaza hacia el mar durante las aguas altas. (García, A. y Granado, M., 2003).

## **2.5 Geología regional**

### **2.5.1 Complejo Imataca**

En extensión geográfica el Complejo de Imataca ocupa una faja al norte del escudo de rumbo este-noreste, Tepedino (1985) en González de Juana (1980) fijó aproximadamente el límite occidental del Complejo de Imataca hasta unos 15 Km. al este de Maripa y hacia el sur se extiende al oeste del río Caura bordeando el río Nichare, las cabeceras del río Cucharo y el salto Pará en el río Caura, estado Bolívar; desde ahí se extiende por unos 400 Km. de longitud, con una anchura de unos 200 Km., hasta el estado Delta Amacuro al este, donde aparece bajo los sedimentos del Delta.(González de Juana et al, 1980)

El Complejo de Imataca consiste en orden de abundancia decreciente, de una secuencia de granulitas plagioclásticas-cuarzo-piroxénicas, granulitas microclínicas-cuarzo plagioclásticas-piroxénicas, gneis cuarzo-feldespático-cordierítico-granatífero-biotítico- silimanítico-grafítico y formaciones de hierro, con las siguientes litologías secundarias: cuarcita, caliza impura metamorfizada, roca rodonítica-granatífera, roca cuarzo-granatífero-grafítica y esquisto bronzítico-hornabléndico-biotítico. La secuencia está intrusionada por cuerpos graníticos básicos. El complejo se caracteriza por estructuras anticlinales bien desarrolladas y estructuras sinclinales mal definidas, con rumbo este-noreste. Hacia la porción occidental del complejo, se desarrollan domos equidimensionales, muchos de ellos orientados norte-sur. Los conjuntos del Complejo de Imataca están intensamente metamorfizados, y pertenecen en general a la subfacies de granulita hornabléndica, de la facies granulítica (González de Juana et al, 1980 en García, A. y Granada, M., 2003).

El contacto inferior del complejo se desconoce. Aunque algunos autores (Kalliskoski, 1965-a, b y Menéndez, 1994 en García, A. y Granada, M., 2003) han especulado sobre la posibilidad de que el Complejo formó parte del basamento de la secuencia supracortical de los cinturones de rocas verdes, aunque en la Provincia Geológica de Imataca, no existe evidencia de campo alguna al respecto. El Complejo de Imataca alcanza dimensiones hectokilométricas, tanto en ancho, como en su extensión Este-Oeste. (González de Juana et al, 1980 en García, A. y Granada, M., 2003).

El Complejo de Imataca tiene importancia económica principalmente por su mineralización de hierro, caolín, manganeso y bauxita, así como también para la industria de la construcción como piedra triturada (agregado para concreto, balastro, etc.) y rocas ornamentales (pisos, fachadas, columnas, etc.). (González de Juana et al, 1980 en García, A. y Granada, M., 2003).

### 2.5.2 Formación Mesa

La Formación Mesa se extiende por los llanos centro-orientales y orientales (estados Guárico, Anzoátegui, Monagas). Se encuentran algunos afloramientos en los estados Sucre y Bolívar, inmediatamente al sur del río Orinoco. El espesor de la Formación Mesa es muy variable, pero en términos generales disminuye de norte a sur, como consecuencia del cambio en la sedimentación fluvio-deltaica y aumenta de oeste a este, por el avance de los sedimentos deltaicos (González de Juana, 1980). En la Mesa de Maturín, la Formación Mesa tiene un espesor máximo de 275 m, mientras que en el estado Bolívar rara vez llega a los 20 m.

En los límites Norte y Sur de la Mesa de Guanipa (González de Juana, 1946), la Formación Mesa consiste de arenas de grano grueso y gravas con cemento ferruginoso, cementadas y muy duras; conglomerado rojo a casi negro, arenas blanco-amarillentas, rojo y púrpura, con estratificación cruzada; además contiene lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita. En la Mesa de Tonoro se observan capas lenticulares de conglomerado, arenas, y algunas arcillas. Al noroeste de Santa Rosa existe una capa lenticular de conglomerado, de más de 25 m de espesor, con delgadas intercalaciones de arenas.

En Santa Bárbara de Maturín, la parte superior (76 m.) consiste en gravas con intercalaciones de arenas y arcilla roja y amarillo intenso: la parte inferior (60 m.) formada por clásticos finos (arenas gris y blanco, intercaladas con arenas arcillosas y arcillas gris abigarradas). Al suroeste de Maturín, la Formación Mesa está compuesta por arcillas moteadas y abigarradas, con nódulos sin arena. En los llanos centro-orientales, la formación, está constituida por arenas no compactadas. Los sedimentos de la Formación Mesa, gradan de norte a sur, de más gruesos a más finos al alejarse de las cadenas montañosas del norte; desde la parte central de Monagas al macizo de Guyana, gradan de más finos a más gruesos.

En la sección de río Cristalino, río La Palencia, río del Medio, Caripito y Las Parcelas, la formación está constituida por conglomerados con elementos líticos redondos, tipo pudinga, de tamaño grande, aproximadamente 0.15 metros de diámetro, en una matriz arcillo-arenosa de color gris claro a amarillo. (Ferrer y Castro, 1997 en García, A. y Granado, M., 2003).

### **2.5.3 Depósitos aluvionales**

Los sedimentos fluviales recientes se encuentran bordeando el río Orinoco y las corrientes principales de Guayana. Está constituido principalmente por limos, arcillas y arcillas limosas, Inter-estratificados con lentes arenosos. Estos materiales son provenientes de la meteorización de las rocas del Complejo 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 aluviales y el área de inundación periódica del río Orinoco. (González de Juana et al, 1980).

En general, los depósitos aluvionales están constituidos por estratos o capas intercaladas de limos, arcillas, arcillas limosas y arenas muy micaceas, que han sido transportados por los ríos desde su lugar de origen hasta llegar al delta, donde se acumulan conformando tales depósitos.

## **2.6 Geología local**

La zona en estudio, se encuentra limitada geológicamente hacia el norte por la Formación Mesa del Pleistoceno y depósitos aluvionales recientes del oriente venezolano (principalmente por Monagas y Delta Amacuro), y por las rocas del

Precámbrico inferior del Complejo de Imataca por el sur. (González de Juana et al, 1980).

En el tramo que va desde la milla 85 hasta la milla 195, tenemos una litología conformada por rocas clásticas no consolidadas (aluviones), que poseen una permeabilidad variable generalmente alta y con una edad aproximada de origen que data del Cuaternario reciente. Sus suelos poseen texturas medias a arcillosas, muy variables en su distribución y se encuentran intercalaciones de estratos arenosos en el subsuelo, formado por materia muy nueva con alto contenido de mica (García, A. y Granado, M., 2003).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes de la investigación**

En Febrero del 2000, las bachilleres Mota Asdrulymar y Rodríguez Luz realizaron un trabajo de grado de título “Estudio geomorfológico y geotécnico de las bermas en sector Guasina y taludes sumergidos del canal de navegación en los sectores Guarguapo, Barrancas, Yaya, Araguaito y Guasina del río Orinoco, Venezuela”, en él se encuentra información de la geología y geomorfología características del canal de navegación, la hidrografía del río Orinoco, dinámica de los sedimentos y la estabilidad de los taludes presentes en los sectores antes mencionados del canal de navegación del río Orinoco.

En Enero del 2003 el Instituto Nacional de Canalizaciones realizó el Derrotero para la Navegación en el Canal del Río Orinoco Tramo Matanzas-Boca Grande con la finalidad de optimizar su navegabilidad. En este documento se encuentran una serie de datos que se encontraban dispersos en varios reportes e informes sobre el Canal Orinoco; información sobre el río Orinoco como su longitud y área aproximadas, régimen hidráulico, caudal medio anual (máximo y mínimo), pendiente, transporte de sedimentos, tipo de material presente en el fondo del canal, meteorología, entre otras dirigidas específicamente a la parte de navegación (sistemas de balizamiento, servicios de ayuda para los usuarios del canal, puertos que se encuentran en ciudad Guayana, servicios portuarios, reglamentos generales para la navegación, etc.).

En Julio del 2003, Adriana García y Miguel Granado en su trabajo de investigación estudiaron la influencia que han ejercido los cambios geomorfológicos e hidrodinámicos sobre el mantenimiento del canal con el pasar del tiempo.

El estudio de los cambios morfológicos de las líneas de costa y las islas aflorantes del sector Yaya lo realizaron por medio de comparación de fotografías aéreas, imagen satelital y un plano de la vía fluvial del Orinoco. Para observar la hidrodinámica (zonas de erosión y de sedimentación del canal de navegación), compararon modelos tridimensionales generados con el programa Surfer.

Estudiaron la estabilidad de los taludes sumergidos empleando dos métodos, el criterio de los ángulos de reposo de las partículas ( $\theta$ ) y los ángulos de las pendientes laterales ( $\Phi$ ), resultando dichos taludes completamente estables.

Realizaron ensayos de laboratorio al material existente en el fondo del río, específicamente el Sector Yaya, arrojando como resultado que esta área está compuesta por arenas bien gradadas denominadas, según la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, como suelo tipo SW, a excepción de la muestra tomada en la milla 138,9, compuesta por arenas mal gradadas con ausencia de finos, resultando un suelo tipo SP. El ensayo de corte directo indicó que los ángulos de fricción interna varían en un rango de  $31^\circ$  y  $34^\circ$ , teniendo los valores más altos en la milla 138,9 y los valores menores aguas abajo. Con los resultados del análisis de forma determinaron que los sedimentos del Sector Yaya (desde la milla 135,5 hasta la milla 139,1) han sufrido un desgaste, bien sea por transporte o colisión con otras partículas, ya que las formas predominantes van de sub-angulosas a sub-redondeadas. Los análisis mineralógicos mostraron una gran concentración de minerales opacos (Pirita, Ilmenita, Oxido de Hierro) en la margen derecha, y baja concentración de minerales como Circón y Turmalina.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Geomorfología fluvial**

La morfología y la actividad sedimentaria se presenta en forma muy dinámica debido a la condición del río Orinoco, que se presenta como un río con características típicas aluviales, mostrando un fondo inestable que sufre modificaciones de acuerdo a la carga de los sedimentos, el caudal y la época del año (Tippet, Abbet, McCarty y Stratton, 1970).

Dentro de los procesos que intervienen en la sedimentación de depósitos sedimentarios en sistemas fluviales, se destacan los trabajos geológicos, los cuales tienen su inicio con la erosión a través de la remoción del material de fondo del canal del río y del material de la orilla de su cauce, esta remoción se presenta en una forma constante, de manera que las partículas que provienen de la erosión según su granulometría y la densidad de los sedimentos van a ser transportadas ya sea por tracción, suspensión o saltación.

### **3.2.2 Propiedades de los sedimentos**

Las propiedades de los sedimentos pueden ser clasificadas según la característica que muestre la partícula individualmente o en forma de conjunto. La característica individual con mayor importancia la representa el tamaño de sus granos y frecuentemente se ha utilizado el tamaño medio, sin embargo, la forma, la densidad y la distribución granulométrica del sedimento pueden ser muy variables de una estación del río a la otra; pudiendo esto influir en la variación del comportamiento hidráulico de un río a lo largo de un cauce (Pettijohn, J. 1963).

### 3.2.3 Estructuras fluviales

Donde la planicie fluvial tiene un amplio desarrollo, se pueden identificar las siguientes estructuras geomórfico-fluviales: islas, barras, canales laterales activos o inactivos, caños y canales tributarios, segmentos estrangulados de canales, lagos en medialuna (oxbow), espirales de meandros, restos de paleocanales, diques naturales y bancos colonizados por vegetación. Resaltan además, las islas fluviales, barras arenosas (de punta y alternadas), dunas (eólicas, fluviales y mixtas), rizaduras eólicas y subacuáticas, afloramientos rocosos en zonas de raudales (rápidos) las cuales pueden experimentar modificaciones al evolucionar con el tiempo y según la condición del flujo. (Pérez, E. 2004).

3.2.3.1 Barras fluviales: las barras fluviales son estructuras frecuentes y de gran extensión superficial presentes en el canal del río en época de aguas bajas y que al ser sometidas a la erosión durante los flujos medios y altos, experimentan cambios y transformaciones más acentuadas, llegando a ser removidas y desplazadas por el flujo, lo que ocurre con mayor intensidad en las inmediaciones a la confluencias con los contribuyentes que aportan apreciable cantidad de sedimentos arenosos. (Pérez, E. 2004).

3.2.3.2 Islas fluviales: son estructuras presentes en el cauce del río, cuya evolución y grado de estabilidad está asociado a diferentes factores tales como, la acción hidrodinámica del flujo y la estabilidad de los materiales que la constituyen, y la forma como la vegetación es capaz de colonizar y fijarse o adaptarse a las condiciones de fluctuación de niveles de aguas y naturaleza del sedimento. (Pérez, E. 2004).

3.2.3.3 Dunas fluviales: son estructuras sedimentarias localizadas a lo largo del canal de un río. Las cuales están asociadas a diferentes factores tales como la acción

hidrodinámica del flujo, la resistencia y la estabilidad del material que lo conforman (Pérez, E.2004).

### **3.2.4 Transporte de sedimentos**

El estudio de los procesos de sedimentación del río Orinoco requirió de dos modalidades importante de transporte de materiales:

3.2.4.1 Sedimentos en suspensión: son las partículas que van de arena fina a material coloidal y son transportadas por la corriente del río debido a un mecanismo turbulento. Estas partículas tienden a depositarse cuando las velocidades del río disminuyen y como resultado de una cuña de agua salada en la desembocadura. La sedimentación de la materia en suspensión puede verse afectada por: descarga de agua dulce, transporte de sedimentos por efecto del oleaje, las corrientes de marea y las litorales, la recirculación del material bombeado por las dragas, y el efecto de trampa de sedimentos que representa el canal de navegación. (Pérez, E. 2004).

3.2.4.2 Transporte de sedimentos de fondo: formado por partículas más gruesas, que varían entre limo y arena gruesa y grava, y que son transportados cerca o dentro de las capas superiores del fondo del canal debido a varios mecanismos. El flujo de sedimentos de la carga de fondo depende de las velocidades del río y de la fuerza de arrastre, que es el producto del peso específico del agua, la profundidad y la pendiente del río. (Pérez, E. 2004).

La sedimentación de las partículas en suspensión del río tiende a presentarse en la desembocadura mientras que la de los materiales de fondo tiende a ocurrir en el cauce. (Pérez, E. 2004).

### 3.2.5 Trazado de un río

Según Church, M. 1992, el trazado de un río se refiere al tipo de trayectoria que presenta en planta. La sinuosidad, que se estima como el cociente entre la longitud del río y la longitud del valle en un tramo, permite diferenciar tres tipos de trazados.

3.2.5.1 Trazado recto: relativo a cocientes de sinuosidad inferiores a 1.5, no se aprecian líneas en el cauce pero la línea del thalweg se desplaza alternativamente de una orilla a la otra, haciéndose más visible en aguas bajas.

3.2.5.2 Trazado meandriforme: cuando el coeficiente de sinuosidad es superior a 1,5, debido a las curvas que desarrolla el cauce desplazándose en sentido transversal del valle hacia un lado y otro. El tipo de curvas o meandros puede ser muy diferente de unos ríos a otros, pudiéndose diferenciar entre ellos a su vez diferentes tipos de trazados.

3.2.5.3 Trazado trenzado: que se desarrolla en tramos de mayor pendiente o cuando la carga sólida es elevada, y se caracteriza por la formación de un curso de agua ancho y poco profundo, que se divide en varios brazos dejando islas intercaladas, uniéndose hacia aguas abajo y volviéndose a separar, a modo de trenzas.(figura 3.1).

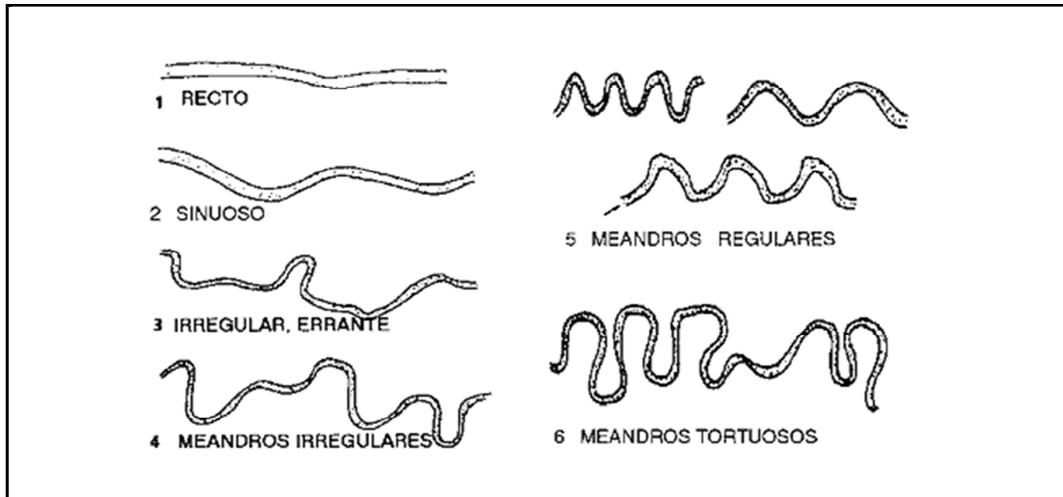


Figura 3.1 Trazados de un río (Church, M. 1992).

### 3.2.6 Ecuación de Manning

En 1.889 el ingeniero irlandés Robert Manning presentó una ecuación, la cual se modificó hasta llegar a su bien conocida forma actual. (Pravia, J. 1987).

$$v = (1.49/n) * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (3.1)$$

Donde:

$v$ = Es la velocidad media en pies/s.

$R$ = Es el radio hidráulico.

$S$ = Es la pendiente de la línea de energía.

$n$ = Es el coeficiente de rugosidad, conocido específicamente como la  $n$  de Manning.

Esta ecuación fue desarrollada a partir de siete ecuaciones diferentes, basada en los datos experimentales de Bazin y además verificada mediante 170 observaciones.

La ecuación de Manning se ha convertido en la más utilizada de todas las ecuaciones de flujo uniforme para los cálculos de flujos de canales abiertos, debido a su simplicidad y a los resultados satisfactorios que arroja en aplicaciones prácticas.

### **3.2.7 Selección del Coeficiente de rugosidad de Manning**

Según Pravia, J. 1987, al aplicar la ecuación de Manning, la mayor dificultad está en la determinación del coeficiente de rugosidad  $n$ , ya que no existe un método exacto para la selección del valor de  $n$ . Con el nivel del conocimiento actual, seleccionar un valor de  $n$  significa estimar la resistencia al flujo en un canal determinado.

Con el fin de dar una guía para la determinación correcta del coeficiente de rugosidad, se estudiarán cuatro enfoques generales: 1) entender los factores que afectan el valor de  $n$  con el fin de adquirir el conocimiento básico del problema y disminuir el rango de incertidumbre, 2) consultar una tabla de valores comunes de  $n$  para canales de diferentes tipos, 3) examinar la apariencia de algunos canales comunes cuyos coeficientes de rugosidad se conocen, y 4) determinar el valor de  $n$  mediante un procedimiento analítico basado en la distribución de velocidades teóricas en la transversal de un canal y en los datos de medición de velocidad o de rugosidad.

### **3.2.8 Movimiento incipiente de las partículas en corriente**

El movimiento de una partícula de sedimento es función de las condiciones instantáneas del flujo y de su resistencia a moverse. El inicio del movimiento de las partículas se da cuando el flujo de agua está a punto de empezar a mover las partículas de sedimento y depende del esfuerzo cortante que una corriente produce sobre el lecho y de la velocidad media del flujo.

A medida que el líquido empieza a moverse sobre el lecho del cauce constituido por partículas sueltas y sin cohesión, de tamaño uniforme, las fuerzas hidrodinámicas empiezan a actuar sobre las partículas sólidas del lecho y en todo el perímetro mojado.

Debido a la naturaleza estocástica del movimiento del sedimento a lo largo del lecho aluvial, es difícil determinar con precisión para que las condiciones de flujo una partícula sedimentaria comienza a moverse.

3.2.8.1 Shields (1936) en Yang, C. (1996) expresa analíticamente las fuerzas actuantes en una partícula de sedimentos. Él aplicó análisis dimensional para determinar algunos parámetros adimensionales y estableció su bien conocido diagrama para movimiento incipiente.

Los factores que son importantes en la determinación del movimiento incipiente son el esfuerzo cortante ( $\tau$ ), la diferencia en densidad entre el sedimento y el fluido  $\rho_s - \rho_f$ , el diámetro de la partícula ( $d$ ), la viscosidad cinemática ( $\nu$ ), y la aceleración de la gravedad ( $g$ ), Estas cinco cantidades, pueden ser agrupadas en dos cantidades adimensionales

$$d (\tau_c / \rho_f)^{1/2} / \nu = d U_* / \nu \quad (3.2)$$

$$\tau_c / (d(\rho_s - \rho_f)g) = \tau_c / (d\gamma(\rho_s / \rho_f)) \quad (3.3)$$

Donde:

$\rho_s$  y  $\rho_f$  = Son las densidades del sedimento y el fluido, respectivamente.

$\gamma$  = Peso específico del agua.

$U$  = Velocidad de corte.

$\tau_c$  = Esfuerzo cortante crítico en el movimiento inicial.

La relación entre estos dos parámetros está entonces determinada experimentalmente. La muestra de los resultados experimentales obtenidos por Shields y otros investigadores del movimiento incipiente. Un punto sobre la curva, la partícula estará en movimiento. Un punto bajo la curva, entonces el flujo es incapaz para mover la partícula. (Figura 3.2).

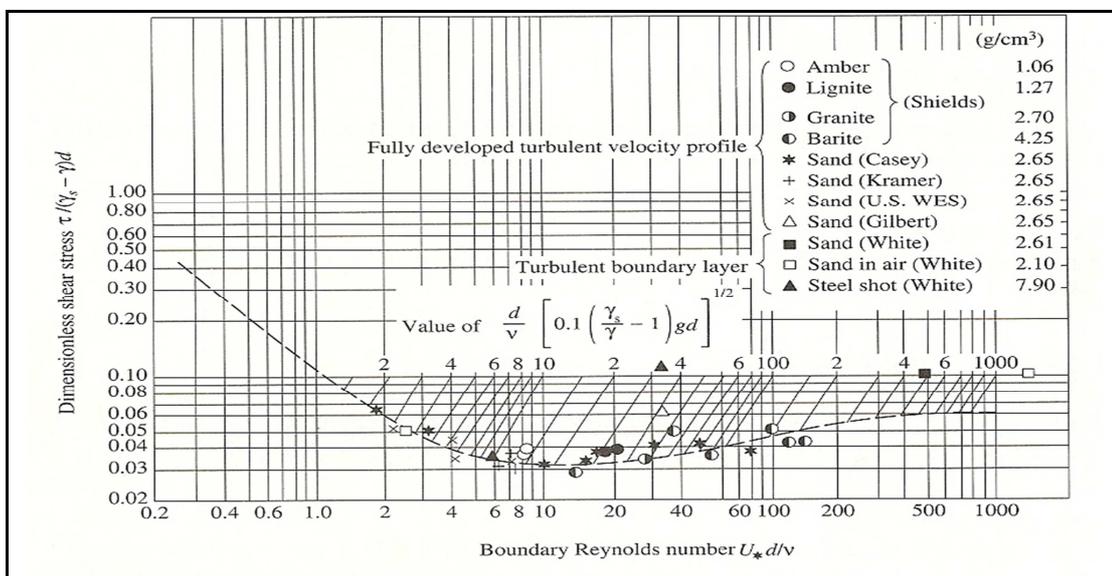


Figura 3.2 Diagrama de Shields para movimiento incipiente (Vanoni, 1975 en Yang, C. 1996).

En sus experimentos, Shields midió varios valores de  $\tau / (d (\rho_s - \rho_f) g)$  al menos dos veces tan grandes como el valor crítico y entonces lo extrapoló al punto de cero descarga de sedimentos. Este método indirecto fue usado para evitar la dificultad de determinar la condición precisa a la cual la partícula del sedimento debía moverse.

Aunque el diagrama de Shields ha sido ampliamente utilizado por ingenieros como un criterio para el movimiento incipiente, se pueden encontrar muchas insatisfacciones en la literatura.

Una de las objeciones para usar el diagrama de Shields es que las variables dependientes aparecen en ambos parámetros de ordenadas y abscisas. Dependiendo de la naturaleza del problema, la variable dependiente puede ser el esfuerzo cortante crítico o el tamaño del grano. El Comité de Tarea de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles en la preparación del Manual de Sedimentos (Vanoni, 1977 en Yang, C. 1996) usa un tercer parámetro:

$$(d/v) [0.1 ((\gamma_s / \gamma) - 1) g d \quad (3.4)$$

El uso de este parámetro permite determinar su intersección con el diagrama de Shields y sus correspondientes valores de esfuerzo cortante. La relación básica ha sido probada y modificada por diferentes investigadores.

3.2.8.2 Según Hjulstrom, F. (1956), quien presentó el análisis de erosión, transporte y sedimentación con base en la velocidad media del flujo. La velocidad en el fondo de un canal 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 los más fáciles de erosionar; la gran resistencia a la erosión de las partículas más pequeñas depende de las fuerzas de adhesión y cohesión. (Figura 3.3).

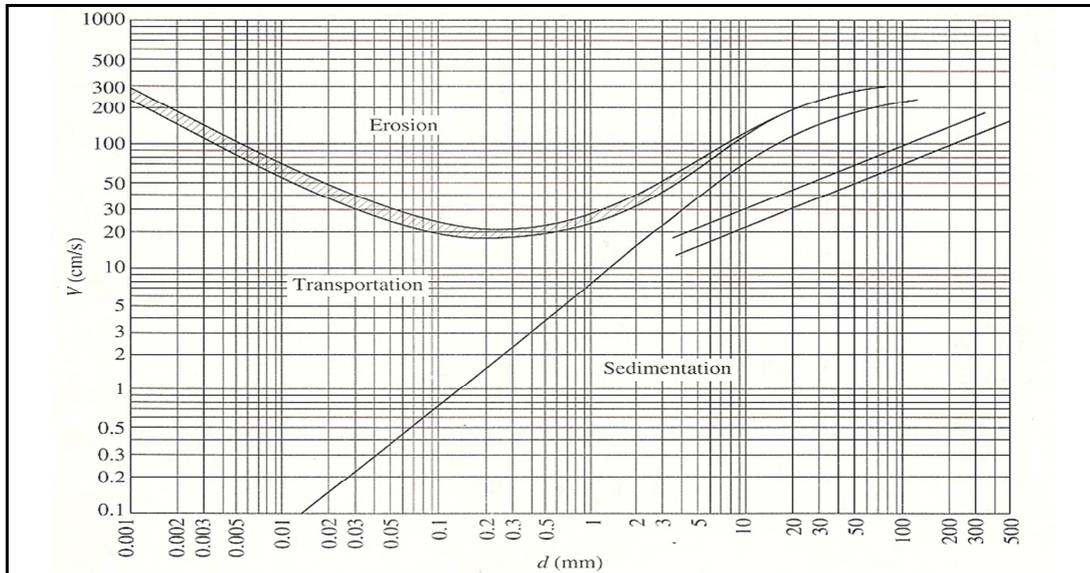


Figura 3.3 Criterio erosión-depositación para partículas uniformes (Hjulstrom, 1935 en Yang, C. 1996).

3.2.8.3 Van Rijn, L. (1993), determina que el movimiento de una partícula ocurre cuando la fuerza del fluido sobre la partícula, está justamente a lo largo de la fuerza de fricción la cual está relacionada con el peso de la partícula sumergida y el coeficiente de fricción. Las fuerzas cohesivas son importantes cuando el material de lecho está constituido por una cantidad apreciable de partículas de arcillas y limo. (Figura 3.4).

Se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\theta_{cr} = \tau_{b,cr} / [(\rho_s - \rho)gd] \quad (3.5)$$

$$\tau_{b,cr} = \rho \cdot h \cdot I \quad (3.6)$$

Donde:

$\theta_{cr}$  = Parámetro crítico de Shields.

$\tau_{b,cr}$  = El tiempo crítico promedio.

$\rho$  = Densidad del agua.

$\rho_s$  = Peso específico del material del lecho.

$g$  = Gravedad.

$d_{50}$  = Diámetro medio de las partículas.

$h$  = Profundidad del agua.

$I$  = Pendiente hidráulica.

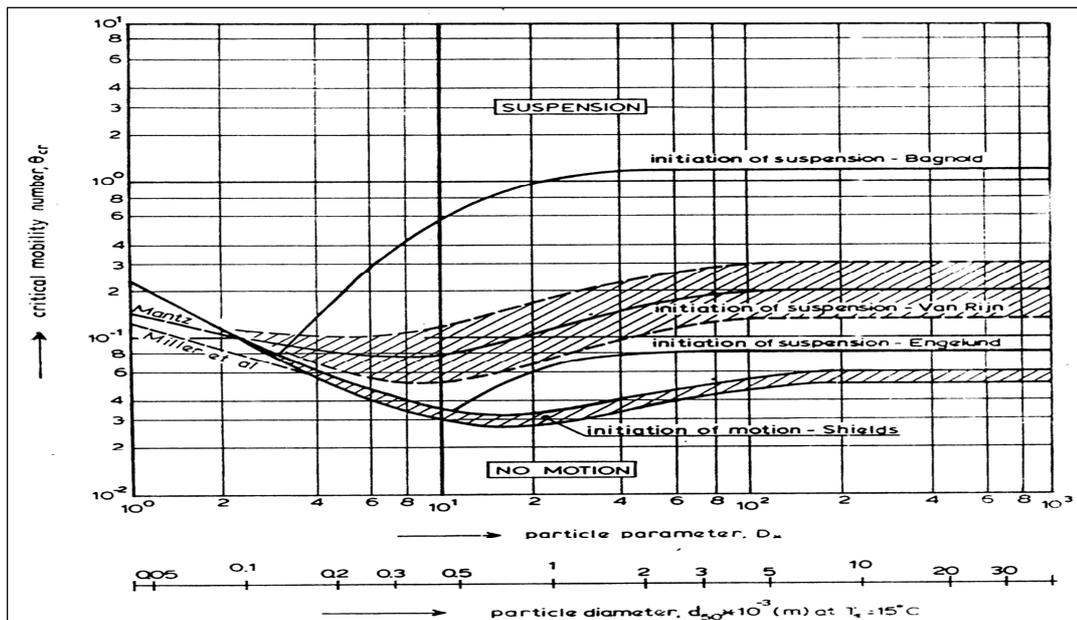


Figura 3.4 Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho (Van Rijn, L. 1989).

### **3.2.9 Niveles del río**

Generalmente se denomina "Niveles del río o Altura del río" la distancia comprendida entre la superficie del agua y el datum del Nivel de Aguas Bajas (NAB). A los efectos de navegación, resulta más práctico expresar la distancia en pies (García y Granado, 2003).

Los niveles del río se determinan mediante la implementación de una red de limnógrafos y limnímetros instalados a todo lo largo del canal. (Informe I.N.C., 1997). Estos aparatos registran en cada estación el nivel del río durante las 24 horas y funcionan automáticamente durante un periodo de un mes; sin embargo, por la vital importancia que tiene esta información, se realizan inspecciones de estos instrumentos cada 15 días, aprovechándose esta oportunidad para reemplazar el papel de registro.

Los datos del limnómetro se ingresan a la base de datos computarizados mediante la digitalización de los limnigramas utilizando una mesa digitalizadora. Por medio de dicho sistema, se pueden establecer los niveles diarios del río, inclusive por hora, día, mes ó año, pudiendo así determinar los valores máximos promedios y mínimos para cada día, mes ó año según se requiera.

### **3.2.10 Dragado**

La palabra dragar se deriva de una palabra Inglesa que significa tirar, halar o arrastrar. El dragado y la descarga del material dragado básicamente pueden ser definidos como un proceso artificialmente inducido de erosión, transporte y disposición final de los sedimentos usando para ello una draga (Tippet, Abbet, McCarty y Stratton, 1970).

#### 3.2.15.1 Tipos de dragados:

Dragado capital: se refiere al dragado de profundización y ensachamiento de canales o áreas acuáticas en general.

Dragado de Mantenimiento: se refiere al dragado realizado con cierta frecuencia para remover los sedimentos de reciente sedimentación (Tippet, Abbet, McCarty y Stratton, 1970).

#### **3.2.11 Dragas**

Es una máquina usada para las excavaciones, de la superficie de la tierra cubierta de agua, con el fin de profundizar o limpiar de fango, arena, gravas y rocas de una determinada área (Tippet, Abbet, McCarty y Stratton, 1970).

#### **3.2.12 Dragas hidráulicas**

Su principal característica es que la mezcla suelo-agua es succionada y transportada por un sistema de bomba centrífuga, el suelo es mezclado con agua para luego ser succionado y transportado por la bomba centrífuga. A continuación se describe brevemente algunos tipos de dragas hidráulicas (Tippet, Abbet, McCarty y Stratton, 1970).

3.2.17.1 Dragas de tolva: según Tippet, A. 1970, son embarcaciones de dragado autopropulsadas, usadas en medianos y grandes proyectos, mezclando grandes volúmenes de agua con sedimentos para formar una mezcla, la cual es succionada del fondo y bombeada a través de una bomba centrífuga hasta las tolvas para el transporte

del material dragado a lugares alejados, mediante sistemas de bote de fondo (válvulas o compuertas) o por tuberías de conducción a tierra.

3.2.17.2 Funcionamiento: el principio de funcionamiento de la draga de succión en marcha puede dividirse en cuatro partes fundamentales, la cuales se ejecutan mediante propulsión propia (Tippet, Abbet, McCarty y Stratton,1970).

1-Dragado de mantenimiento y carga de tolva.

2-Transporte hasta la zona de bote.

3-Descarga de material en la zona de bote.

4-Retorno al lugar de dragado.

### **3.2.13 Radio hidráulico**

Para la determinación del radio hidráulico (Pravia José, 1987): se fundamenta en la siguiente fórmula:

$$Rh = A/pm \quad (3.12)$$

Donde:

Rh (radio hidráulico): es la relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado

A (área): es el área de la sección transversal del flujo, tomada normalmente a la dirección del flujo

Pm (perímetro mojado): es la longitud de la línea que es interface entre el fluido y el contorno del canal

### **3.2.14 Programa HEC-RAS**

HEC-RAS está diseñado para realizar cálculo hidráulico unidimensional, para una red completa de canales naturales y construidos.

El sistema HEC-RAS contiene cuatro componentes unidimensionales para análisis del río: (1) cálculo del flujo constante de la superficie del agua, (2) simulación de flujo no permanente, (3) cálculo de transporte de sedimentos en condiciones límites y (4) análisis de la calidad del agua. Un elemento clave es que los cuatro componentes utilizan una representación común de datos geométricos y rutinas comunes de computación geométrica e hidráulica. Además de los cuatro componentes de análisis de río, el sistema contiene varias características de diseño hidráulico que se puede invocar una vez que los perfiles básicos de agua superficial se calculan.

Este componente del sistema de modelado se destina para la simulación del transporte de sedimentos unidimensional/cálculos de movimientos límites resultantes de la erosión y la deposición en períodos moderados de tiempo, normalmente años. (<http://hec.usace.army.mil/software/-hec-ras/>)

### **3.2.15 Programa SMS (Surface Water Modeling System)**

SMS es la principal solución para la gestión eficiente de procesos del modelado de la superficie del agua, desde la importación de datos topográficos e hidráulicos para la visualización y análisis de soluciones. SMS interactúa con una amplia gama de modelos numéricos para aplicaciones que incluyen el análisis de los caudales

fluviales, transporte de contaminantes, transporte de sedimentos, rastreo de partículas, las inundaciones rurales y urbanas, de estuario, circulación costera, de entrada y de modelado de onda. (<http://www.aquaveo.com/sms>).

SMS es compatible con una serie de diferencias finitas 2D y modelos de elementos finitos incluyendo RMA2/RMA4, FESWMS, TUFLOW, ADCIRC, CMS FLOW, CMS Wave, STWAVE, CGWAVE y BOUSS2 D-

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **4.1 Nivel de investigación**

Según Tamayo (2003), la investigación descriptiva comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente. Trabaja sobre realidades de hecho, y su característica fundamental es la de presentamos una interpretación correcta.

Lo anterior lleva a concluir que el tipo de investigación es descriptiva ya que está enfocada en estudiar el comportamiento del flujo de sedimentos y áreas de descarga de dragado en el sector Yaya. Así mismo se estudiarán los parámetros hidráulicos, características geomorfológicas y geotécnicas.

#### **4.2 Diseño de la investigación**

La investigación documental depende fundamentalmente de la información que se recoge o consulta en documentos, entendiéndose este término, en sentido amplio, como todo material de índole permanente (Cazares, L. 1999).

El diseño de la investigación es de tipo documental. Documental porque se utilizarán fuentes bibliográficas (libros, informes técnicos, fotografías aéreas, planos) para una mejor comprensión y manejo del tema.

### **4.3 Población y muestra**

#### **4.3.1 Población**

Para esta investigación la población está comprendida por el cuerpo de agua y sedimentos del lecho presentes en el sector Yaya, ubicado desde la milla 133 a la 140 del río Orinoco según las cartas de navegación editadas por el Instituto Nacional de Canalizaciones.

#### **4.3.2 Muestra**

En el muestreo opinático la selección de los elementos se realiza en función del juicio que respecto a la obtención de una muestra tiene quien diseña la muestra (Vivanco, M. 2.005). Es decir, para esta investigación el muestreo será de tipo opinático ya que se consideran muestras tomadas de diversas partes del lecho sin seguir un patrón determinado.

### **4.4 Técnica e instrumentos implementados**

#### **4.4.1 Técnicas**

Revisión bibliográfica sobre el objeto de estudio.

Revisión de informes técnicos y trabajo de investigación previos.

Revisión de planos del área de estudio.

Uso de diagramas para análisis de movimiento de flujo (Hjulstrom, Shields y Van Rijn, entre otros).

#### 4.4.2 Instrumentos

Computador.

Cámara fotográfica.

Equipos de dibujos.

Programas. (Surfer, SMS y Hec-Ras).

Impresora.

#### 4.5 Flujograma de la metodología

Para llevar a cabo la presente investigación se siguió la metodología definida en el flujograma de la figura 4.1.

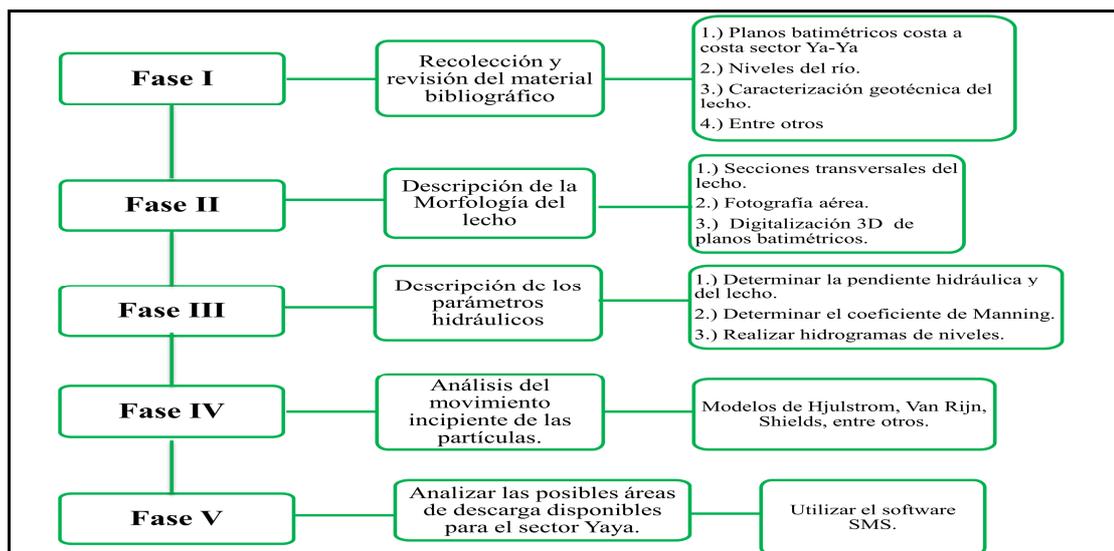


Figura 4.1 Flujograma de la metodología.

## **4.6 Descripción del flujograma de la investigación**

### **4.6.1 Fase I Recolección y revisión del material bibliográfico**

4.6.1.1 Recolección y revisión del material bibliográfico: Se recolectará toda la información necesaria para esta investigación, comprendida por el material bibliográfico referente a morfología de ríos, parámetros hidráulicos, dragado y toda información que pueda suministrar internet y trabajos de grado que estén vinculados a la temática de la investigación.

4.6.1.2 Obtención de información referente al sector de estudio: Luego de consultar todo el material bibliográfico referente a la investigación, se solicitará al Instituto Nacional de Canalización datos tales como:

- Planos batimétricos del sector Yaya Año 2.001.
- Registros de los niveles promedios mensuales de la estación Palúa durante el periodo 1943 al 2009.
- Mediciones de gastos sólidos, gastos líquidos, velocidades y niveles del río, realizadas por el I.N.C mediante campañas de aforo, para el período 1.997-2003.
- Tasa de sedimentación en el sector Yaya.
- Imágenes satelitales del área de estudio.
- Planos batimétricos costa a costa del sector en digital.

4.6.1.3 Obtención de los datos geotécnicos del lecho: Se realizará tomando información del trabajo de grado de García. A y Granado. M (2003). Dicha información estará comprendida por ensayos granulométricos, análisis de forma y corte directo.

#### **4.6.2 Fase II Descripción de la morfología del lecho**

Se realizarán secciones transversales cada 500 metros a lo largo del sector Yaya para obtener el perfil del lecho.

A fin de visualizar la morfología del área de estudio se digitalizarán en 3D los planos batimétricos costa a costa del año 2001 del sector Yaya por medio del programa Surfer Golden 8.0.

#### **4.6.3 Fase III Descripción de los parámetros hidráulicos**

1.) En primer lugar se realizarán los hidrogramas de niveles máximos, promedios y mínimos del río correspondientes al sector Yaya para los últimos 66 años. Para lo que se necesitarán los niveles del río Orinoco en la estación limnigráfica de Palúa y/o los niveles de las estaciones limnigráficas ubicadas inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del tramo de estudio.

2.) Se realizará la correlación gráfica de las velocidades de corriente, caudales líquidos y niveles del río, esto permitirá obtener la magnitud de la velocidad de la corriente y del caudal conociendo el nivel del río en la sección.

3.) Se determinará la pendiente hidráulica y la pendiente del lecho utilizando los planos batimétricos costa – costa y los niveles del río aguas arriba y aguas abajo del tramo en estudio, para el cual se deberá usar el ábaco de pendientes.

4.) Se determinará el área de la sección transversal de aforos, el perímetro mojado y el radio hidráulico utilizando la tabla detallada de salida (detailed output tables) como se muestra en la figura 4.2.

The screenshot shows the 'Cross Section Output' window with the following data:

Plan: Plan 01 Río Orinoco Ya-Ya RS: 20 Profile: PF 1					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	6.48	Wt. n-Val.		0.040	
Vel Head (m)	0.06	Reach Len. (m)	350.00	280.00	230.00
W.S. Elev (m)	6.42	Flow Area (m2)		21735.82	
Crit W.S. (m)		Area (m2)		21735.82	
E.G. Slope (m/m)	0.000091	Flow (m3/s)		24137.40	
Q Total (m3/s)	24137.40	Top Width (m)		2150.00	
Top Width (m)	2150.00	Avg. Vel. (m/s)		1.11	
Vel Total (m/s)	1.11	Hydr. Depth (m)		10.11	
Max Chl Dpth (m)	18.92	Conv. (m3/s)		2529365.0	
Conv. Total (m3/s)	2529365.0	Wetted Per. (m)		2164.38	
Length Wtd. (m)	280.00	Shear (N/m2)		8.97	
Min Ch El (m)	-12.50	Stream Power (N/m s)		9.96	
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m3)		262676.60	
Frcn Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)		18535.50	
C & E Loss (m)	0.00				

Errors, Warnings and Notes

**Warning:** The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.

Enter to move to next downstream river station location

Figura 4.2 Tabla detallada de salida generada por el programa HEC RAS.

5.) Se determinará el coeficiente de rugosidad de Manning por medio del programa HEC-RAS, él permite introducir todas las secciones transversales ubicadas cada 500 metros en el tramo de estudio. A continuación se dará una explicación de la utilización del programa.

a.) Iniciando el programa: se visualizará la pantalla del software al iniciar, tal como se muestra en la figura 4.3.

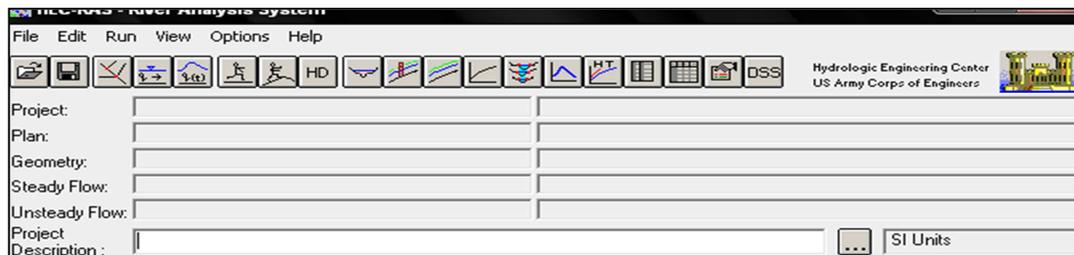


Figura 4.3 Ventana principal del programa.

b.) Trazado del río, de acuerdo al tramo de estudio se diseña la forma del sector a estudiar. (Figura 4.4).

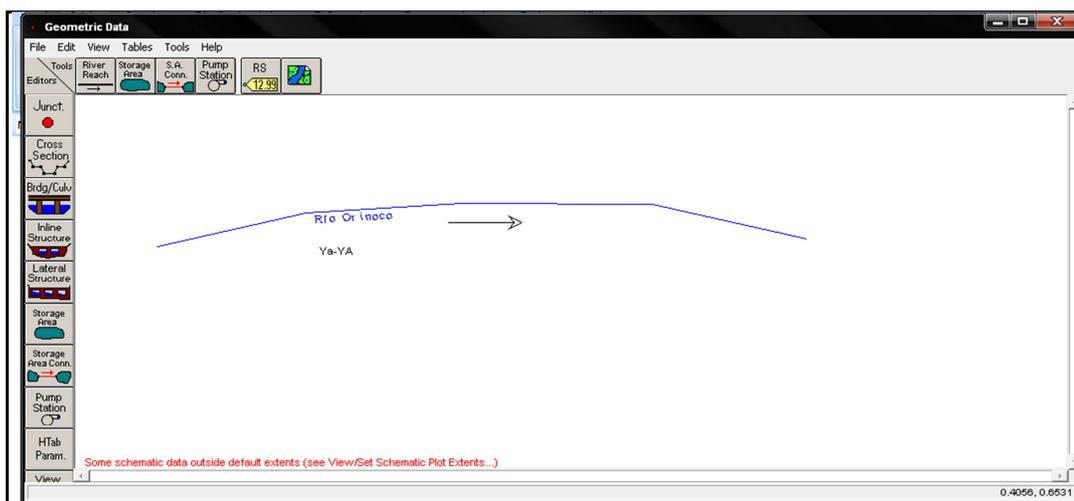


Figura 4.4 Trazado del sector Yaya.

c.) En el esquema planteado, se introduce la data geométrica (*Cross Section Data*) de las diversas secciones transversales a lo largo del cauce considerado. (Figura 4.5).

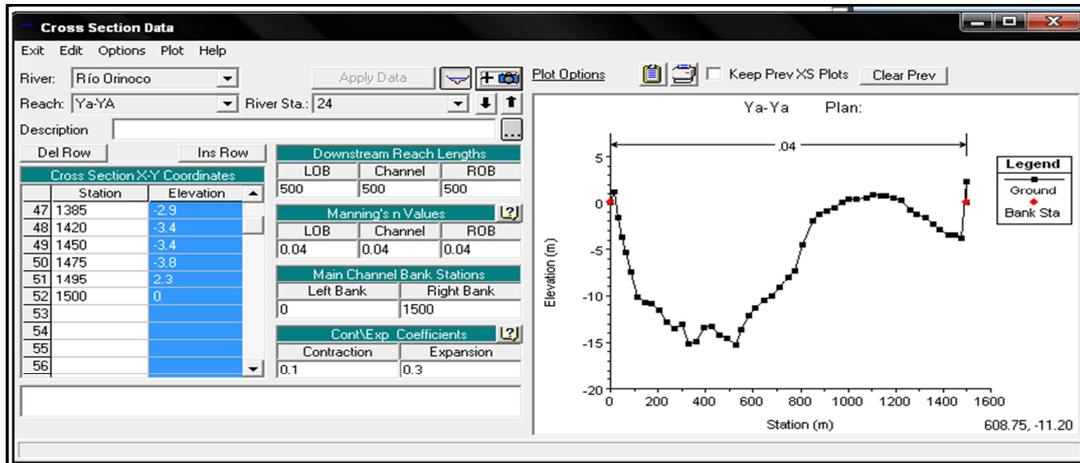


Figura. 4.5 Asignación de los valores de una sección del tramo.

d.) De esta gráfica, *Station* es la distancia acumulada de la sección en estudio, desde la margen izquierda hasta la margen derecha, *Elevation* es la profundidad correspondiente a cada distancia acumulada, *L.O.B* es la distancia de la sección en estudio hasta la siguiente sección aguas abajo, respecto a la margen izquierda, *Channel* es la distancia de la sección en estudio hasta la siguiente sección aguas abajo, respecto al centro del cauce, *R.O.B* es la distancia de la sección en estudio hasta la siguiente sección aguas abajo, respecto a la margen derecha, *Manning's values* es el coeficiente de Manning para la margen izquierda, centro del canal y margen derecha respectivamente, *Main Channel Bank Station* es el dominio del ancho inundable del cauce.

Después de introducir todas las secciones del tramo en estudio, el resultado quedará representado tal como se muestra en la figura 4.6.

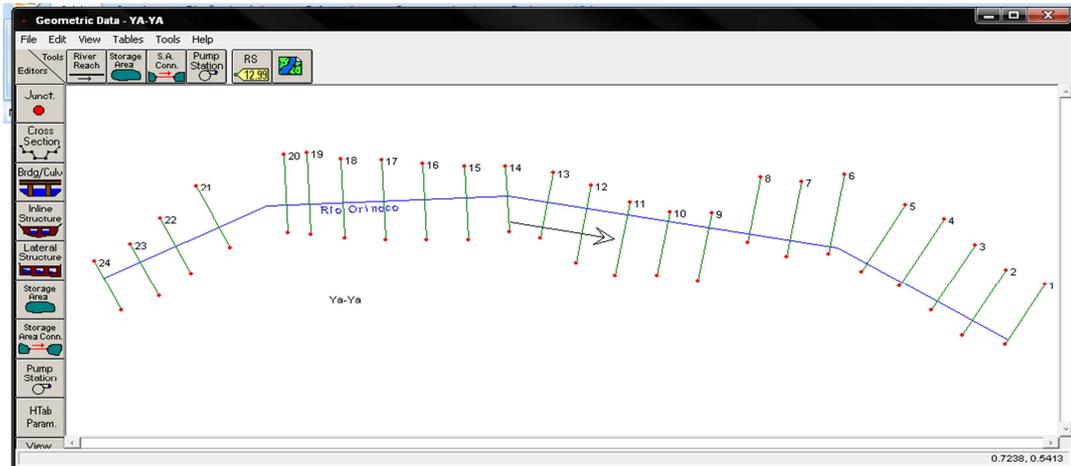


Figura 4.6 Esquema en planta del tramo.

e.) Posteriormente, en la ventana de datos para el flujo (Steady Flow Data), se inserta el valor del caudal a evaluar. (Figura 4.7).

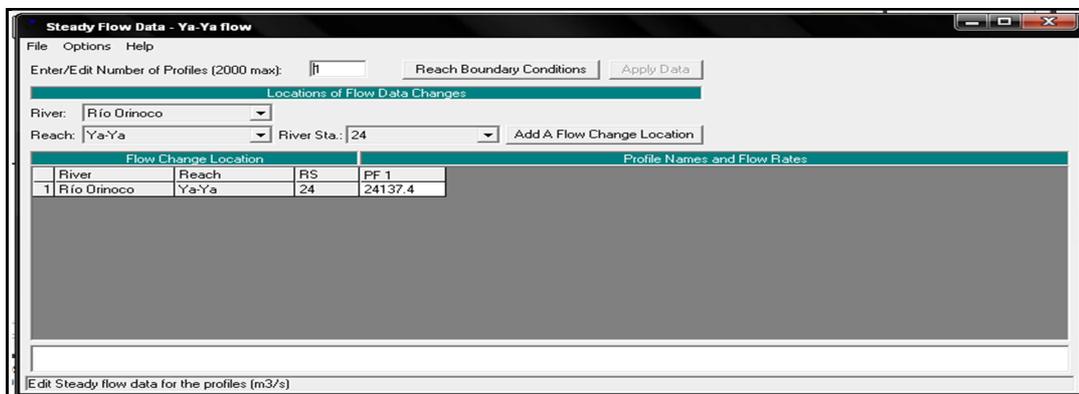


Figura 4.7 Ventana para datos de flujo.

f.) Luego se ingresa el nivel del agua para el caudal considerado (Know water surfaces for flows), que estará referido al *Main Channel Bank Station* (Figura 4.8).

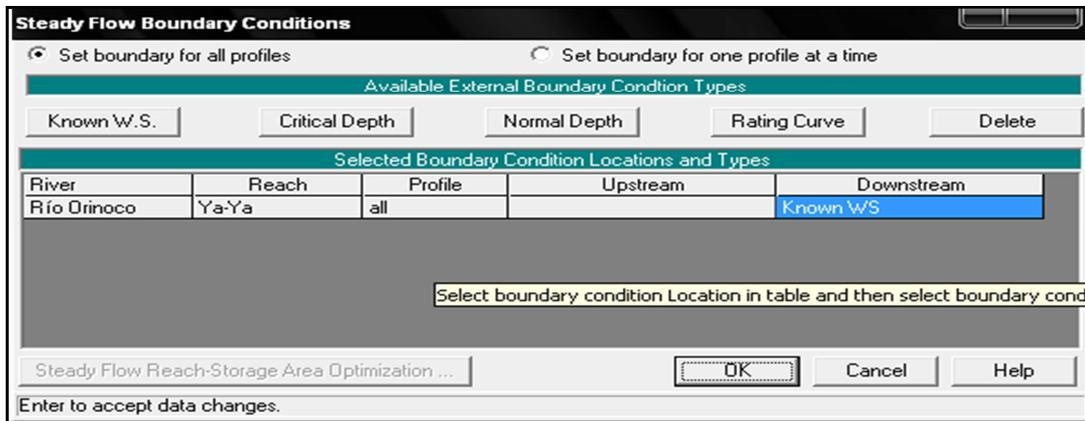


Figura 4.8 Ingresando el nivel de agua para el caudal.

g.) Una vez incluidos todos estos datos, es posible aplicar el análisis del flujo (Steady Flow Analysis) a todo el tramo en estudio con la opción Compute. (Figura 4.9).

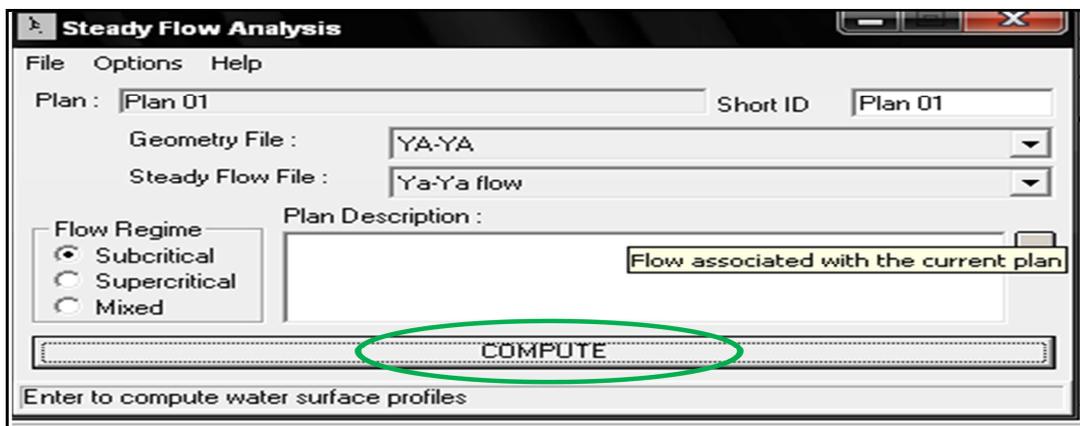


Figura 4.9 Análisis del flujo en el tramo de estudio.

Los resultados de este análisis se agrupan en una tabla resumen, ella muestra parte de la data ingresada así como las velocidades y niveles calculados por el programa para cada una de las secciones transversales ingresadas, al mismo tiempo el

programa estima las pendientes entre secciones y la perspectiva del ploteo de los puntos en x-y-z. Como se puede apreciar en la figura. 4.10.

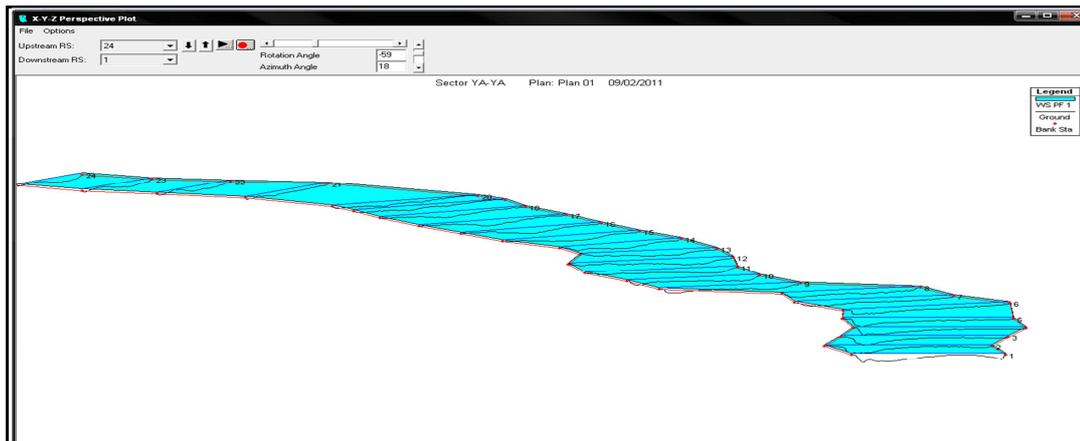


Figura 4.10 Perspectiva en x-y-z.

#### 4.6.4 Fase IV Análisis del movimiento de los sedimentos

Para dar cumplimiento a esta fase se utilizarán los modelos de Hjulstrom, Shields y Van Rijn.

#### 4.6.5 Fase V Análisis de las posibles áreas de descarga disponibles para el sector Yaya

Este objetivo se llevará a cabo utilizando el programa SMS (Surface-Water Modeling System), este programa simula la superficie del agua generando soluciones hidrodinámicas que permiten evaluar el comportamiento del río.

Para ingresar al programa es necesario contar con los planos batimétricos costa a costa del año 2001 del sector Yaya en formato Dxf y txt. A continuación se dará una explicación del programa.

a.) Iniciando el programa: al iniciar el programa se desplegará la pantalla del SMS en el que se encontrarán las barras principales como también los comandos activos y los modelos que se pueden correr. (Figura 4.11).



Figura 4.11 Pantalla principal del SMS.

b.) Formando los arcos de rasgo, por medio de la data en formato DXF se realizarán los arcos de rasgo delimitando las costas. La cobertura (*default coverage*) se usará con el modulo FESWMS. (Figura 4.12).

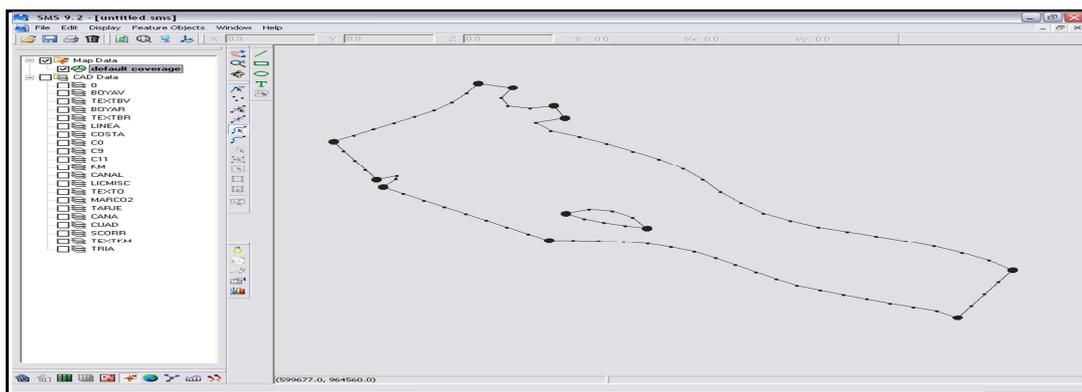


Figura 4.12 Arcos de rasgo formados.

c.) Creando el mallado: luego se realizarán los arcos de rasgo, en la barra principal se selecciona la opción *feature objects*, al desplegarse el menú se selecciona la opción *build polygons*, activándose la herramienta *select feature polygons*, se selecciona y dentro del tramo de estudio se presiona haciendo doble click, se desplegará una ventana en la que se muestran las propiedades del mallado a crear, revisamos y el método de mallado a utilizar en este caso será *adaptive tessellation* con la batimetría constante, al terminar seleccione el botón de aceptar y luego, en la barra principal, en *feature objects*, al desplegarse el menú seleccionar *map- 2Dmesh*. Aparece inmediatamente el mallado. (Figura 4.13).

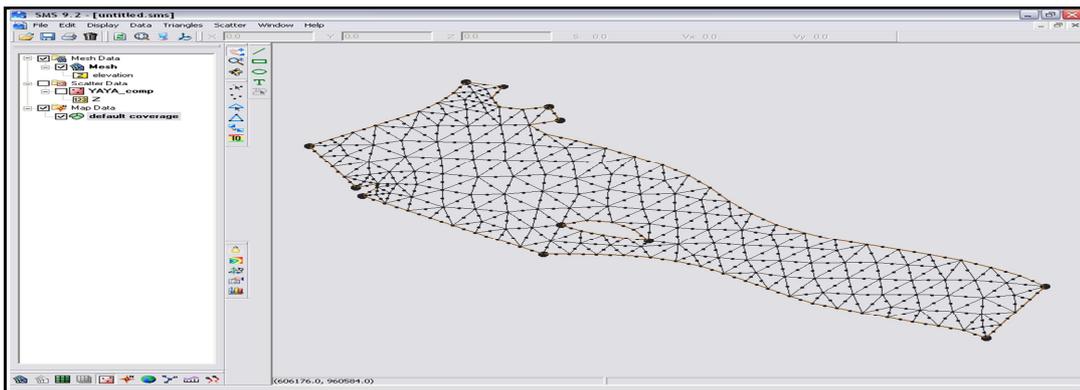


Figura 4.13 La malla ya formada.

d.) Ingresando la batimetría: ahora, con la data en formato .txt, se ingresa al programa, la batimetría se visualiza, a partir de estos puntos en dispersión se interpolará la batimetría en la malla para que todos los puntos creados en la misma tengan coordenadas y profundidad. (Figura 4.14)

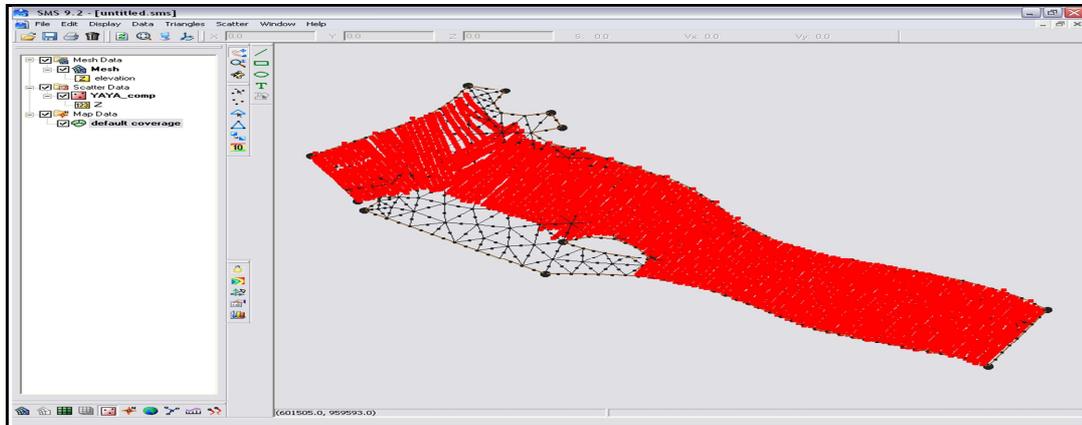


Figura 4.14 Ingresando la batimetría.

e.) Asignando las condiciones límite: para esto se van a crear cordones de arcos en las entradas y salidas de flujo. Ya formados los cordones de mallado se seleccionan (*select nodestring*) en la barra principal, en FESWMS; en el menú mostrado seleccionar *assign-BC*, si es entrada de caudal escoja *flow* y coloque el valor del caudal, si es salida se introduce el nivel del agua (WSE).

f.) Para el modelo que se está utilizando llevar el puntero a la barra principal del FESWMS, en *material properties*, y se asigna el coeficiente de rugosidad  $n_1$  y  $n_2$  para el lecho.

g.) Luego, en el modelo FESWMS, se selecciona *model control*, para especificar las condiciones del modelo a correr, principalmente un tipo de corrida *hydrodynamic* y un tipo de solución *steady state*.

h.) En la pestaña de parámetros se especificará el nivel del agua y la densidad del agua.

i.) Para la corrida del modelo, es necesario guardar los cambios ya establecidos, para este caso se guardarán como YAYA\_OUT y se procede a correr el programa seleccionando FESWMS- *run model*. Una vez culminado se desplegará la solución de forma inmediata. (Figura 4.15).

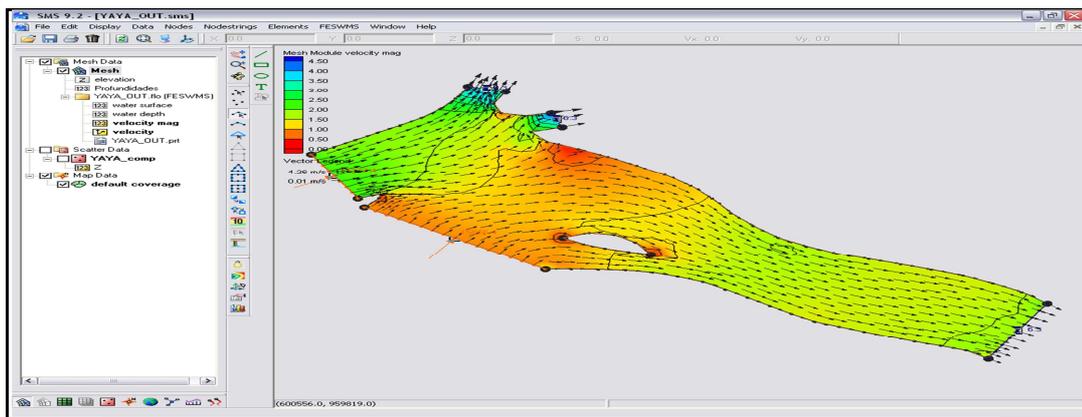


Figura 4.15 Desplegando la solución hidrodinámica.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **5.1 Descripción de la morfología del área de estudio**

Para este paso se recurrió a los planos batimétricos de costa a costa del año 2001 del sector Yaya del canal de navegación del río Orinoco, se realizaron secciones transversales con separación de 500 m., para un total de 24 secciones.

En las figuras C.1, C.2, C.3, C.4, C.5, las mayores profundidades registradas se encuentran hacia la margen izquierda (Norte), estas oscilan entre 30 m. y 34 m.

En las figuras C.6, C.7, C.8, C.9, C.10, C.11, C.12, se observa que las profundidades no superan los 25 m., los mayores valores se encuentran hacia el norte. A medida que se avanza en el canal, en las, C.7, C.8, C.9, C.10, C.11, C.12., en el centro las profundidades van aumentando.

En las figuras C.13, C.14, C.15, C.16, C.17, C.18, se refleja que las profundidades mayores están ubicadas en el centro del canal y ellas oscilan entre 20.90 m. y 24.55 m.

En las figuras C.19 y C.20, se observa que las mayores profundidades no sobrepasan los 20 m. y se encuentra hacia el lado Sur de la sección.

En la figura C.21, se nota que la profundidad mayor no alcanza los 17 m. y está entre el centro y el sur del canal.

En la sección representada en la figura C.22, se puede apreciar hacia el sur la presencia de una posible barra. La mayor profundidad registrada se localiza en el centro del canal y alcanza los 19.12 m.

En las figuras C.23 y C.24, se observa que la zona más profunda se encuentra hacia la margen izquierda del canal, con valores entre 21 m. y 22 m.

Haciendo la comparación de las fotografías aéreas tomadas en el año 1963 y la carta de navegación realizada el año 1996 se observa que la línea de costa de la margen izquierda se desplazó hacia el este y la margen derecha ha tenido un desplazamiento hacia el sur. Los cambios que ha sufrido la isla Playa del Medio pueden estar asociados al aporte de caudal del Caño Tórtola. (Figura 5.1).

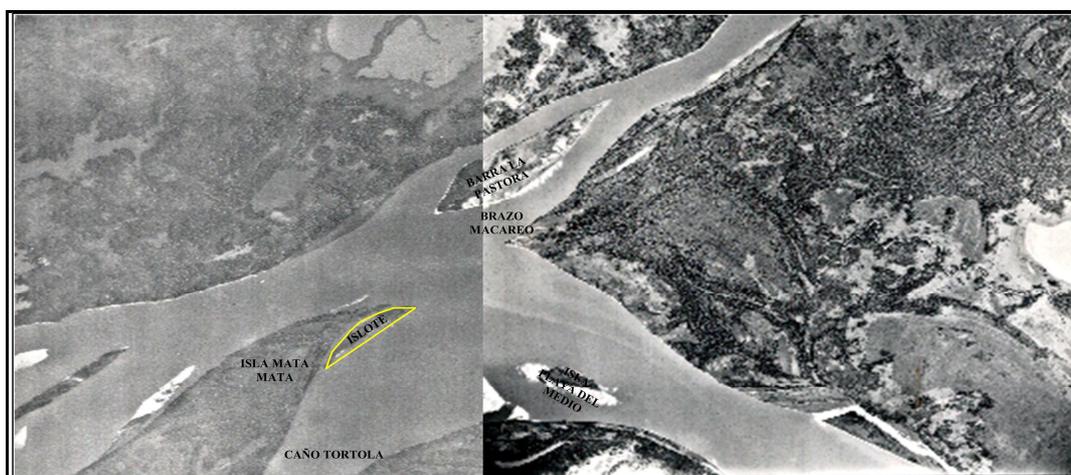


Figura 5.1 Fotografía aérea tomada en los años 1963-64, Misión 3, zona 19. (García, A. y Granado, M., 2.003).

En el modelo 3D del sector Yaya, se observa la presencia de dunas a lo largo del lecho. Las profundidades predominantes se encuentran entre los 6 m. y 10 m., sin embargo la mayor lectura registrada alcanza los 28 m. (Figura 5.2).

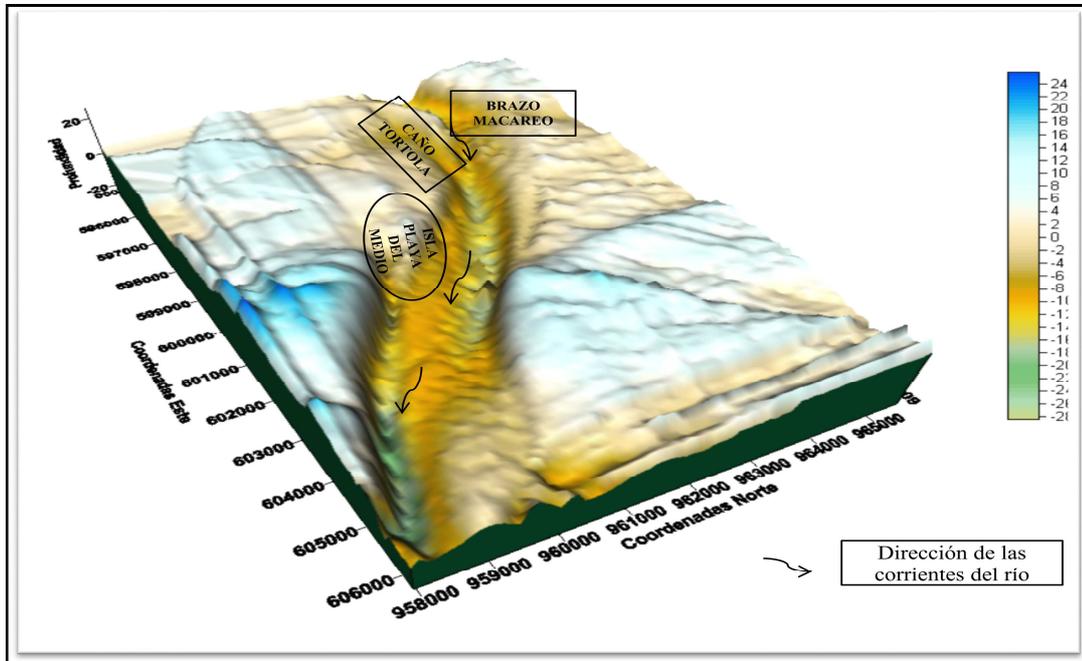


Figura 5.2 Modelo 3D del lecho del sector Yaya del Canal de Navegación del río Orinoco.

## 5.2 Descripción de los parámetros hidráulicos

### 5.2.1 Hidrograma del sector Yaya

Debido a las variaciones anuales que presenta el río Orinoco en cada uno de los periodos, se observan cambios en los niveles del agua que indican un ascenso a finales del mes de Marzo y comienzos del mes de Abril, llegando a un nivel máximo en el mes de Agosto y Septiembre, a partir de este mes el río empieza a descender hasta llegar al nivel de aguas bajas al principio de Marzo.

En el hidrograma presentado en la figura 5.3 se muestran en las abscisas los meses y en las ordenadas los niveles de la milla 136.5 (sector Yaya), este hidrograma se construyó con los niveles proporcionados por el INC de su base de datos desde

1943 al 2009, los mismos fueron proyectados por medio del ábaco de pendiente a partir de los niveles de la estación Palúa.

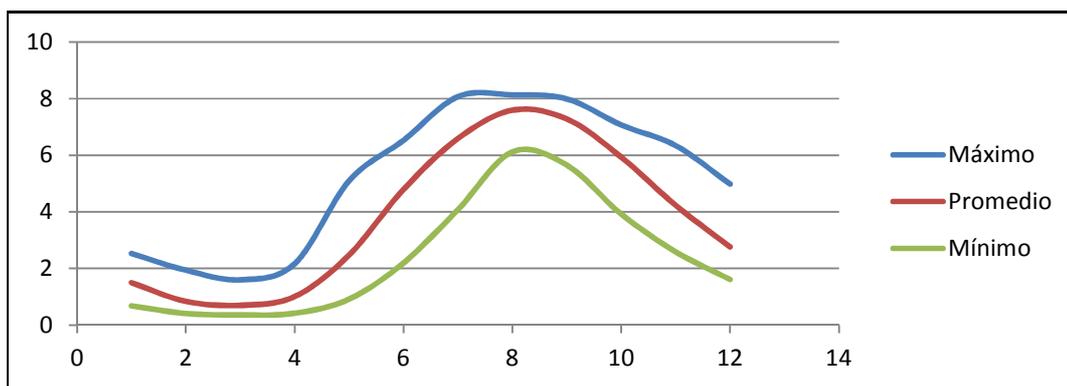


Figura 5.3 Hidrograma de niveles promedios, máximos y mínimos en la milla 136,5 del sector Yaya.

### 5.2.2 Correlación de niveles, caudal y velocidades

Para obtener cualquiera de estas variables se procedió a correlacionar estos datos en la sección de aforo final Isla Varadero en la milla 139,2 (figura 5.4). Los datos de aforo fueron suministrados por el Departamento de Investigación del INC.

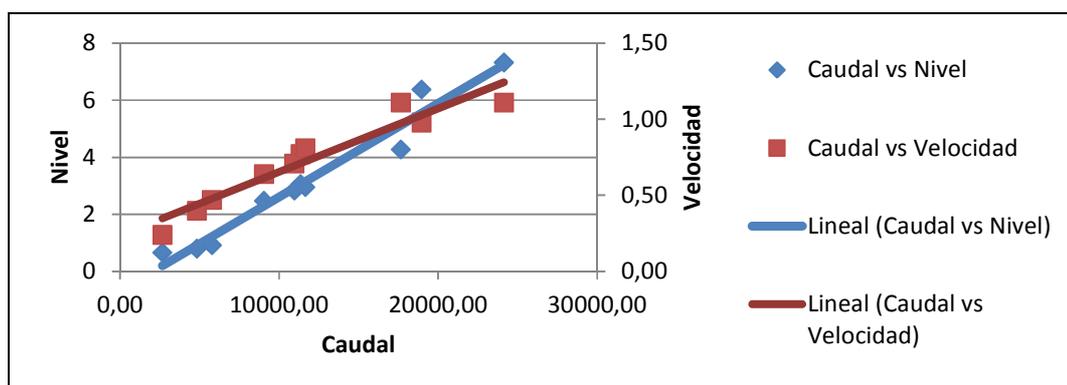


Figura 5.4 Correlación de caudales, niveles y velocidades en la sección de aforo Final Isla Varadero en la milla 139,2 del sector Yaya.

### 5.2.3 Pendiente hidráulica y pendiente del lecho

5.2.3.1 Pendiente hidráulica: se determinó por medio de la diferencia de niveles corregidos con respecto al Nivel Medio del Mar (NMM), en una distancia existente entre las estaciones limnigráfica Cabrian hasta Yaya (tabla 5.1)

Tabla 5.1 Pendiente hidráulica para el sector Yaya.

Nº de Plano	Fecha	Sector	Cabrian Corregido	Yaya Corregido	Distancia entre estaciones limnigráficas	Pendiente Hidráulica
00DB543 2	16/08/2001	Yaya	12.99	11.83	25372.4	4.5719E-05

5.2.3.2 Pendiente del lecho: en los planos batimétricos costa a costa se tomaron dos profundidades (profundidad 1 y profundidad 2) separadas por una distancia considerable (tabla 5.2).

Tabla 5.2 Pendiente del lecho para el sector Yaya.

Sector	Limnógrafo	Fecha de Sondeo	Prof. 1 Correg.(m)	Prof. 2 Correg.(m)	Distancia (m)	Pendiente del Lecho
Yaya	TG Yaya	18/08/2001	10.75	9.25	7500	0.0002

### 5.2.4 Determinación del radio hidráulico

Para cumplir con este paso se tomaron los datos obtenidos en el programa HEC-RAS y se sustituyeron en la ecuación (3.12), obteniendo como resultado un radio hidráulico promedio de 14.2771 m.

### **5.2.5 Coeficiente de rugosidad de Manning**

Debido al desconocimiento de los materiales existentes en el lecho del río y las áreas, y perímetros mojados que ocupan en la sección transversal, se hace necesario estimar un coeficiente de Manning equivalente que genere una línea de pendiente hidráulica similar a la real, para ello se usó un modelo matemático unidimensional de flujo permanente como Software HEC-RAS.

El programa amerita los siguientes datos para describir la geometría del canal

Station: Distancia acumulada.

Elevation: Lectura batimétrica.

LOB: Distancia del margen Izquierdo entre la sección transversal inferior próxima.

Channel: Distancia del margen central entre la sección transversal inferior próxima.

ROB: Distancia del margen derecho entre la sección transversa inferior próxima.

Left Bank: Primera distancia acumulada.

Right Bank: Última distancia acumulada.

Y se va variando el coeficiente de rugosidad en cada sección transversal hasta que el programa genere un valor de pendiente hidráulica similar al existente para cada sección. El coeficiente de rugosidad (n), para el sector Yaya, es de 0.04.

### **5.3 Caracterización geotécnica de los materiales del lecho del río del sector Yaya del río Orinoco**

La caracterización geotécnica se realizó basándose en la información tomada de García. A y Granado. M (2003) acerca de los resultados obtenidos de los ensayos de suelo.

#### **5.3.1 Clasificación granulométrica de los materiales del lecho**

Para realizar la clasificación granulométrica, debido a que el material recolectado era suelto, se empleó el ensayo mecánico; dicho ensayo dio como resultado que estamos en presencia de un suelo tipo SP que, según el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos, es una arena fina mal gradada. (Figuras A.1, A.2 y A.3).

#### **5.3.2 Angulo de fricción interna del material del lecho del sector Yaya**

Partiendo de los resultados obtenidos del ensayo de corte directo, se infiere que el suelo es una arena limosa ya que el ángulo de fricción interna se encuentra entre los  $28^\circ$  y  $36^\circ$ , también se observa que la cohesión es nula. (Figuras A.4, A.5, A.6 y A.7)

### 5.3.3 Análisis de forma de las partículas del lecho del sector de estudio

De acuerdo a los resultados arrojados en el análisis de forma a las partículas de las muestras tomadas en el sector Yaya (Apéndice A.8), se puede inferir que las mismas han sufrido poco transporte debido a que la forma predominante es sub-angular; también se nota que los sedimentos de la muestra tomada en la milla 135.5 se encuentra más cerca de su fuente ya que su contenido de partículas angulares es mayor que en los otros dos casos. (Figura 5.5).

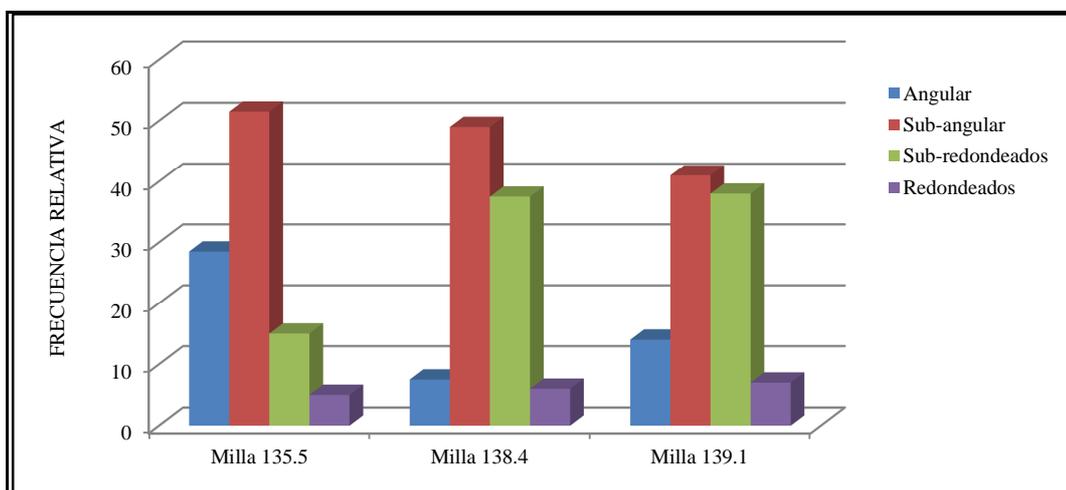


Figura 5.5 Representación del análisis de forma correspondiente a las muestras, tomadas en las millas 135.5, 138.4 y 139.1, del sector Yaya del Canal de Navegación del río Orinoco

### 5.4 Análisis del movimiento de los sedimentos producidos en el sector Yaya

Para realizar el análisis del movimiento incipiente de los sedimentos se utilizaron los modelos de Shields, Hjulstrom y Van Rijn.

### 5.4.1 Modelo de Shields

Para conocer de qué manera se transportan los sedimentos en el sector Yaya se empleó el criterio de Shields, citado por Yang (1996), el cual establece una relación entre el Esfuerzo de Corte Adimensional y el Número de Reynolds límite, con este modelo se puede conocer en qué momento las partículas sedimentarias empiezan a moverse.

El esfuerzo de corte adimensional y número de Reynolds determinado para el sector Yaya fueron 0.816 y 47.7 respectivamente (Apéndice B.30), esto es indicativo de que las partículas están en movimiento con una velocidad turbulenta. (Figura 5.6).

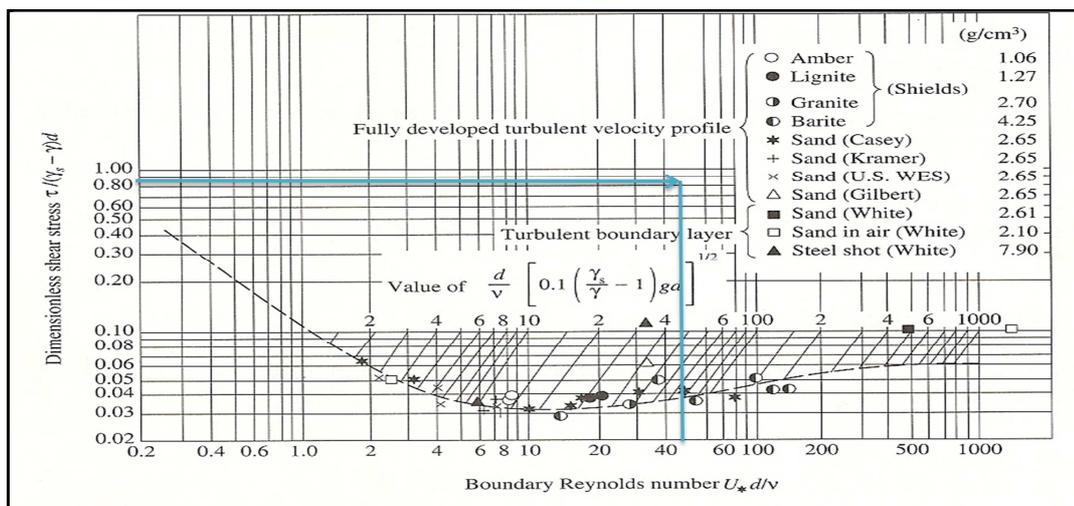


Figura 5.6 Diagrama de Shields para movimiento incipiente (Vanoni, 1975 en Yang, 1996).

### 5.4.2 Modelo de Van Rijn

Van Rijn (1993), para su criterio establece relación entre el parámetro crítico de Shields ( $\theta_{cr}$ ) y el tiempo crítico promedio ( $\tau_{b,cr}$ ), él determinó que el movimiento de

una partícula ocurre cuando la fuerza del fluido sobre ella, está justamente a lo largo de la fuerza de fricción la cual está relacionada con el peso de la partícula sumergida y el coeficiente de fricción.

Conforme al parámetro crítico de Shields ( $\theta_{cr}$ ) (Ecuación 3.5), el valor del parámetro crítico es de  $4 \times 10^{-2}$  en función del diámetro de las partículas de 0.35 mm., lo que indica que las partículas se encuentran iniciando movimiento según la curva de Shields (Figura 5.7)

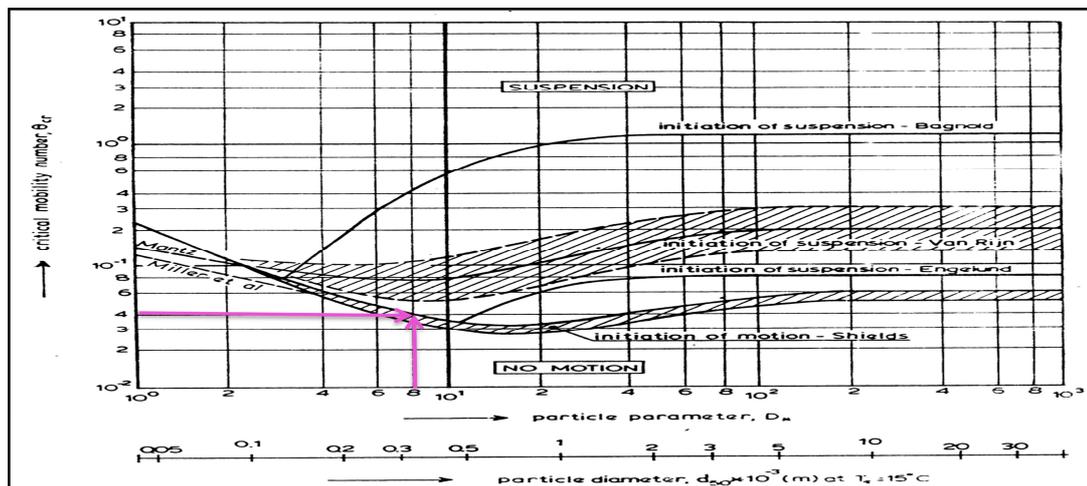


Figura 5.7 Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho (Van Rijn, L. 1989).

### 5.4.3 Modelo de Hjulstrom

El modelo establecido por Hjulstrom se basa en el conocimiento del diámetro medio de las partículas y la velocidad media del flujo, esto permite determinar el estado de movimiento de los sedimentos (erosión, transporte y sedimentación), fuente, Graff, W.H. en (Pravia, J. 1987)

Del modelo de Hjulstrom se infiere que las partículas en el sector Yaya están en erosión, esto para un nivel del río de 6.1 m. De igual manera, se observa que para que las partículas se empiecen a transportar, la velocidad debe ser de 2.7 cm/s y la erosión ocurre a una velocidad de 21 cm/s.

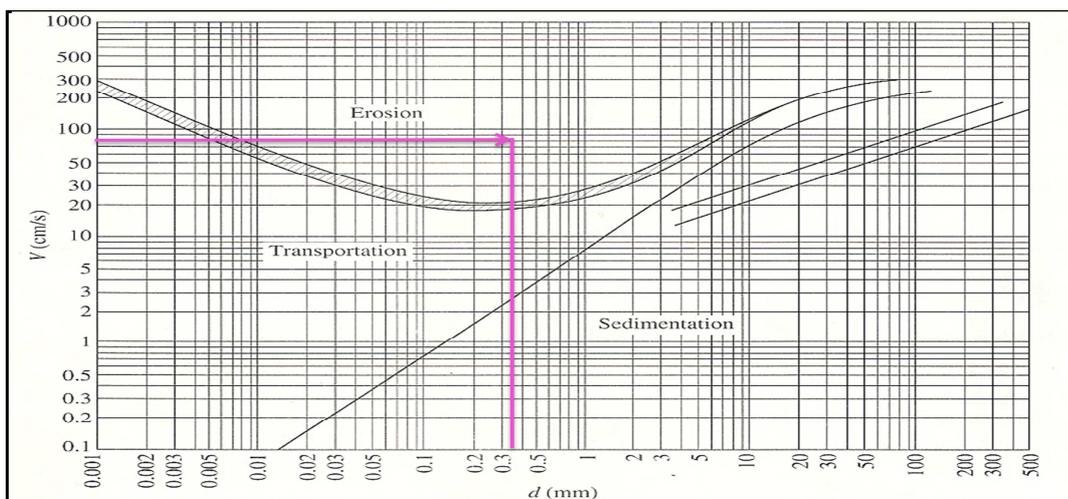


Figura 5.8 Criterio erosión-depositación para partículas uniformes (Hjulstrom, 1935 en Yang, C. 1996).

## 5.5 Evaluación y ubicación de áreas de descarga sugeridas para el sector Yaya

En el sector Yaya del canal de navegación del río Orinoco, se sugieren dos áreas de descarga, una de ellas aguas arriba y otra aguas abajo. Para la evaluación de dichas áreas se tomó en cuenta tanto las profundidades como las velocidades de corriente y la longitud máxima desde el canal dragado hasta el área de descarga.

### 5.5.1 Área de descarga aguas arriba del sector Yaya

Considerando los parámetros mencionados anteriormente, se ubicó una zona de bote aguas arriba del sector Yaya enmarcada entre las siguientes coordenadas (Tabla 5.1).

Tabla 5.3 Coordenadas del área de descarga del sector Yaya ubicada aguas arriba

Este	Norte
595425	963800
596933	964500
597256	964015
595683	963550

El área de descarga en Yaya arriba cuenta con una profundidad promedio de 10.24 m., encerradas en un área de 735350 m<sup>2</sup> que da como resultado una capacidad para el nivel de estiaje de 477977.5 m<sup>3</sup> y para el nivel de aguas altas su capacidad es de 6191647 m<sup>3</sup>. (Figura 5.9)

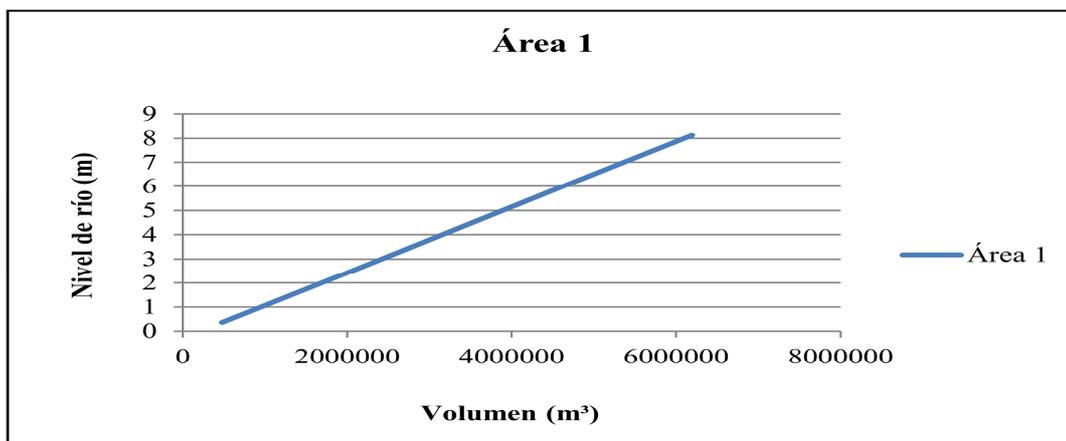


Figura 5.9 Variación del volumen del área de descarga en función de los niveles del río.

La longitud máxima desde la zona de dragado hasta el área de descarga es de 2543.38 m.

Las velocidades de corrientes registradas en esta área oscilan entre 1.57 m/s y 2.01m/s. Se delimitó el área 1 para Yaya arriba. (Figura 5.10).

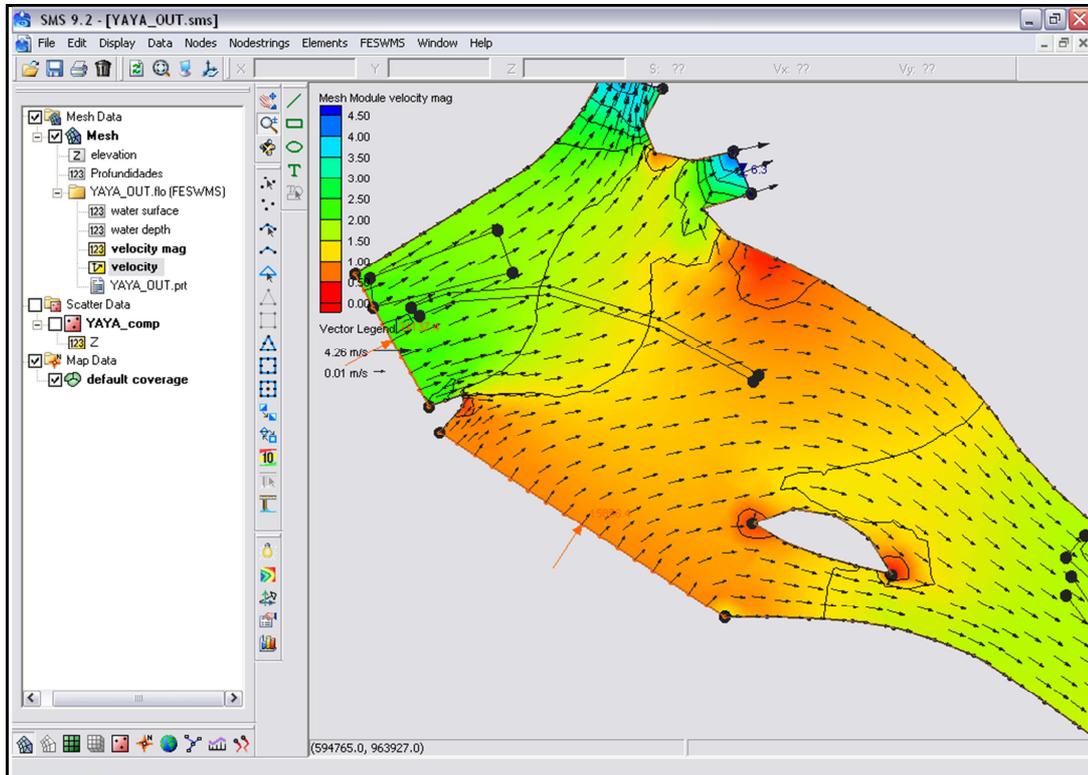


Figura 5.10 Mapa de contornos de velocidad de corriente generado por el programa SMS, indicando el área de descarga N°1 del sector Yaya.

Por otra parte, de acuerdo a los resultados en los análisis de movimiento incipiente, la partícula empieza el transporte cuando las corrientes alcanzan la velocidad de 0.027 m/s y se encuentra en erosión cuando sobrepasan magnitudes de velocidad de 0.21 m/s.

### 5.5.2 Área de descarga aguas abajo del sector Yaya

El área de descarga ubicada aguas abajo del sector Yaya se encuentra encerrada entre las siguientes coordenadas (Tabla 5.2)

Tabla 5.4 Coordenadas del área de descarga del sector Yaya ubicada aguas abajo

Este	Norte
603101	960649
603668	960091
603273	959966
602747	960236

La batimetría registrada aguas abajo del sector Yaya oscila entre 10.5 m. y 13.2 m., cuenta con un área de 269993.18 m<sup>2</sup> y una capacidad de 1196069.79 m<sup>3</sup> para el nivel de estiaje y de 3293916.8 m<sup>3</sup> para el nivel máximo.

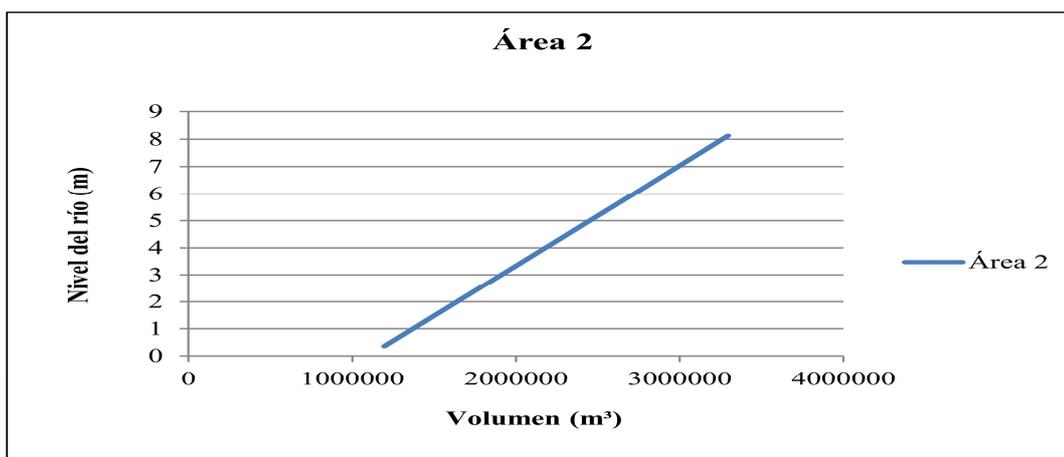


Figura 5.11 Variación del volumen del área de descarga en función de los niveles del río.

La distancia desde la zona dragada hasta el área de descarga es de 1962.72 m.

Al igual que Yaya arriba, en esta área de descarga las partículas están en erosión ya que las velocidades de corriente se encuentran entre 1.45 y 1.49 m/s, sabiendo que la velocidad en la cual las partículas empiezan el proceso de erosión es de 0.21 m/s. (Figura 5.12).

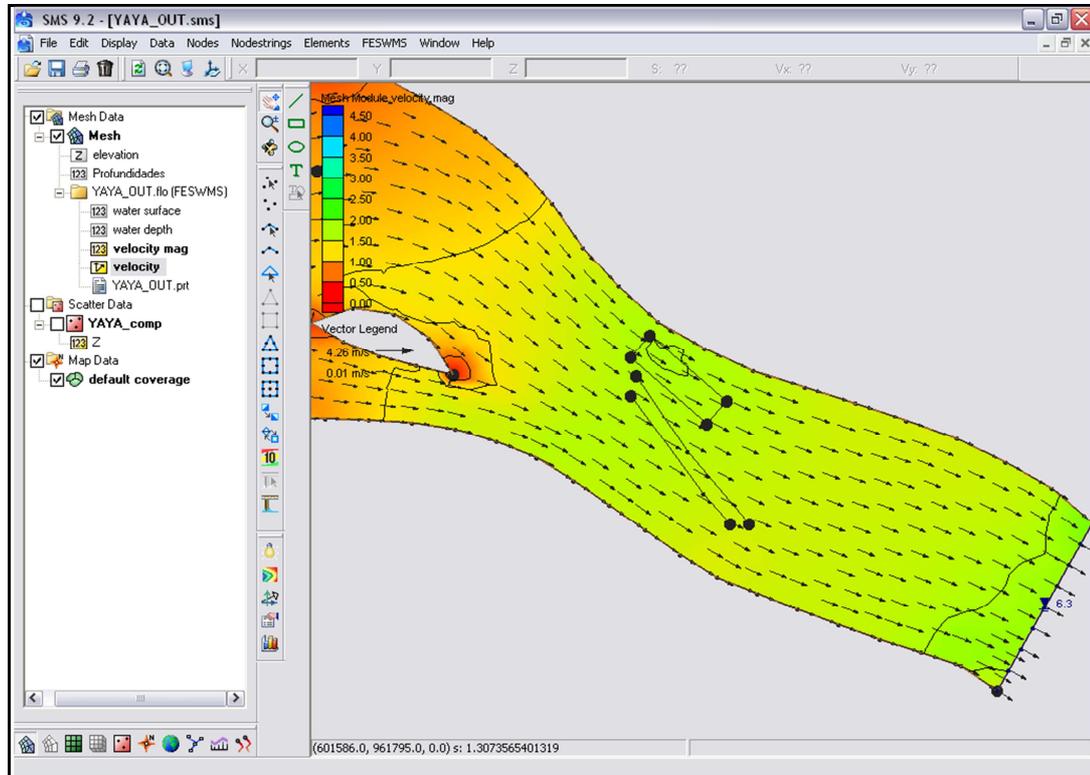


Figura 5.12 Mapa de contornos de velocidad de corriente generado por el programa SMS, indicando el área de descarga N°2 del sector Yaya.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

En el sector Yaya, las profundidades mayores oscilan entre 16m. y 34m., ubicadas en gran parte hacia la margen izquierda (norte). La línea de costa tuvo desplazamiento hacia el este en la margen izquierda y hacia el sur en la margen derecha.

El nivel del río Orinoco, en el sector objeto de estudio, empieza su ascenso en el mes de abril alcanzando su máximo en agosto con 8.13 m. Así mismo, en diciembre comienza su descenso para llegar a 0.36 m. el nivel del río en periodo de estiaje.

Al realizar la comparación de los datos de caudal, velocidad y nivel registrados en la sección de aforo ubicada en la milla 139.2, se observó que esos tres parámetros son directamente proporcionales. Al aumentar el nivel del río, el caudal y la velocidad son mayores. En el sector Yaya el gasto máximo se encuentra entre 2660.73 m<sup>3</sup>/s y 24137.40 m<sup>3</sup>/s teniendo velocidades de hasta 1.1 m/s para el nivel de aguas altas.

La pérdida de cota a lo largo del recorrido del río en el sector Yaya es de 4.5719 E-05 y la pendiente del lecho es de 0.0002.

Mediante el uso del programa HEC-RAS se obtuvo el valor del radio hidráulico y el coeficiente de rugosidad de Manning, 14.2771 m. y 0.04 respectivamente.

Partiendo de los resultados arrojados por los análisis realizados a las muestras de suelo obtenidas del lecho del río en el sector Yaya, se observa que el tipo de suelo

es SP, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, consta de arena fina mal gradada, hay presencia de limo y su cohesión es nula. Las partículas, tomando en cuenta el resultado del análisis de forma, han sufrido poco transporte.

Del modelo de Shields se infiere que los sedimentos se encuentran en movimiento con velocidad de características turbulentas.

Para que empiece el transporte de los sedimentos la velocidad de flujo debe ser de 0.027 m/s., comenzando su erosión masiva a una velocidad de 0.21 m/s., esto partiendo del resultado obtenido del diagrama de Hjulstrom.

De acuerdo al modelo de Van Rijn, para las condiciones dadas en el sector Yaya, las partículas se encuentran en movimiento e iniciando la suspensión.

La ubicación de las zonas de bote del sector Yaya se realizó basándose en la solución hidrodinámica generada por el programa SMS, donde se observaron las zonas con las características más idóneas para descargar el material dragado del canal de navegación. Para la ubicación de las áreas de descarga, puntos importantes a considerar fueron la batimetría, la capacidad, la longitud que hay desde la zona de dragado hasta dicha área de descarga y las velocidades de corrientes. Partiendo de las características antes mencionadas, las áreas propuestas son las más indicadas para ser zona de descarga del material dragado.

### **Recomendaciones**

El laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Canalizaciones debe realizar análisis granulométricos del material extraído del canal de navegación para caracterizar geotécnicamente estas muestras.

El Departamento de Investigación del Instituto Nacional de Canalizaciones debe realizar de manera continua, registros sobre el comportamiento de caudales, niveles y velocidades del río, mediante el aumento de las campañas de aforos en diferentes millas del tramo, con el fin de generar una base de datos más extensa.

## REFERENCIAS

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

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

Church, M. (1992). **CHANNEL MORPHOLOGY AND TYPOLOGY**. Editorial Calow & Petts. New York. United States Of America. pp. 126-143.

Consultora Ingeniería Caura (1994). **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL DRAGADO DEL RÍO ORINOCO. MATANZAS-BOCA GRANDE**. Trabajo de investigación desarrollado por el INC-MARN. Caracas (Inédito); pp. 16-26, 40-43.

García, A. y Granado, M. (2003) **ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DEL SECTOR YAYA DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO**. Tesis de grado de la Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar, Venezuela. Pp. 27-61,

González de Juana (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Tomo I. Ediciones Foninves; pp. 62-76.

Hjulström, F. (1956). **STUDIES IN THE MORPHOLOGICAL ACTIVITY OF RIVERS ASILLUSTRATED BY RIVER FYRIS**. Bulletin of Geological Institution of Uppsala, Uppsala, Suecia. pp. 221.

Instituto Nacional de Canalizaciones (I.N.C) (1997) **DERROTERO PARA LA NAVEGACIÓN EN EL CANAL DEL RÍO ORINOCO, TRAMO MATANZAS-BOCA GRANDE**. Trabajo realizado por el Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela, pp 3-5,10-18

Instituto Nacional de Canalizaciones (2003). **DERROTERO PARA LA NAVEGACIÓN EN EL CANAL DEL RÍO ORINOCO TRAMO MATANZAS – BOCAS GRANDE**. Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela. pp. 80-125

Mota, A y Rodríguez, L (2000). **ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LAS BERMAS EN EL SECTOR GUASINA Y TALUDES SUMERGIDOS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN EN LOS SECTORES GUARGUAPO, BARRANCAS, YAYA, ARAGUAITO Y GUASINA DEL RÍO ORINOCO.** Ciudad Bolívar, Estado Bolívar, Venezuela

Pérez, E (2004). **ESTUDIO GEOMORFOLOGICO E HIDRODINAMICO DE LOS SECTORES ARAGUAITO, SACUPANA Y GUASINA DEL CANAL DE NAVEGACION, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA.** UNIVERSIDAD DE ORIENTE. Ciudad Bolívar, Estado Bolívar. pp 23-58.

Pravia, José. R. (1987). **APUNTES EN MECANICA DE SEDIMENTACION.** Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp 139, 149.

Pettijohn, J. (1963). **ROCAS SEDIMENTARIAS.** Editorial Universitaria, Buenos Aires, Argentina; pp.16.

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

Tamayo y Tamayo, M. (2003). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.** Editorial Limusa S.A de C.V. D.F, México. pp. 46.

Tippet – Abet – Mc Carty – Stratton (T.A.M.S). (1970). **INFORME SOBRE EL TRANSPORTE DE MINERAL DE HIERRO AL MAR.** Instituto Nacional de Canalizaciones (I.N.C), Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela. pp. 14- 23; 46- 91.

Yang, Chih Ted. (1996). **SEDIMENT TRANSPORT.** Theory and Practice. The Mc. Graw Hill Companies, INC pp 19, 21-22.

Van Rijn. Leo., (1989). **PRINCIPLES OF SEDIMENT TRANSPORT IN RIVER, ESTUARIES AND COASTAL SEAS.** University of Utrecht. Department of Physical Geography. pp 4.1-4.33.

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

Vivanco, M (2005). **MUESTREO ESTADÍSTICO. DISEÑO Y APLICACIONES.** Editorial Universitaria. Santiago de Chile. pp. 191.

<http://www.aquaveo.com/sms>, 16 de Noviembre 2010.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>, 16 de Noviembre 2010.

<http://maps.google.es/>, 25 de febrero 2011.

## **APÉNDICES**

**Apéndices A**  
**Análisis de laboratorio**

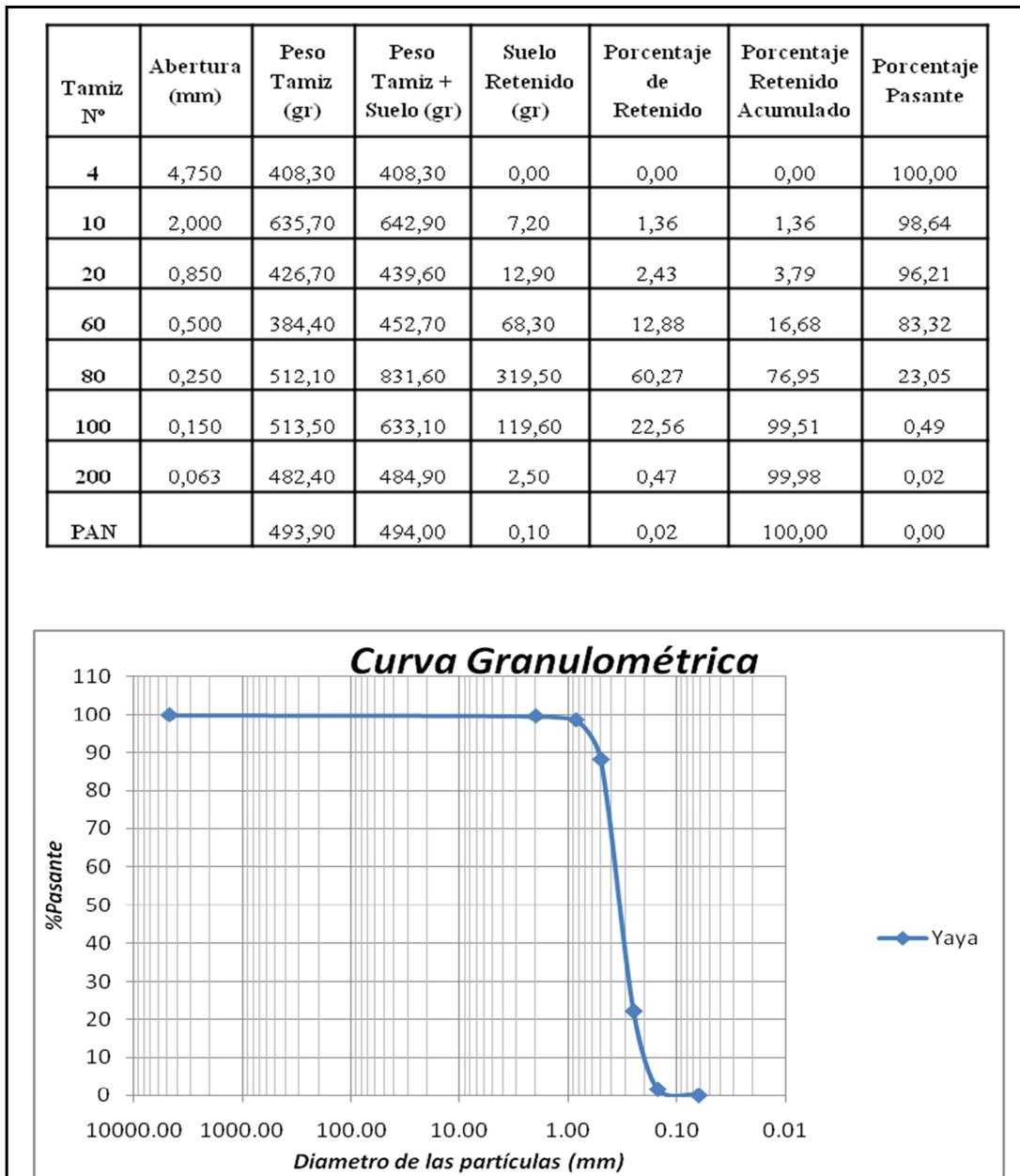


Figura A.1 Curva granulométrica de las muestras tomadas del lecho milla 139.1, del sector Yaya del canal de navegación del río Orinoco.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Tamiz (gr)	Peso Tamiz + Suelo (gr)	Suelo Retenido (gr)	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Pasante
4	4,750	408,30	408,30	0,00	0,0	0,0	100,00
10	2,000	635,70	635,70	0,00	0,0	0,0	100,0
20	0,850	426,70	429,80	3,10	0,6	0,6	99,43
35	0,500	384,40	410,90	26,50	4,8	5,4	94,59
60	0,250	512,10	965,10	453,00	82,8	88,3	11,74
100	0,150	513,50	571,50	58,00	10,6	98,9	1,13
230	0,063	482,40	488,30	5,90	1,1	99,9	0,05
PAN		493,90	494,20	0,3	0,1	100	0

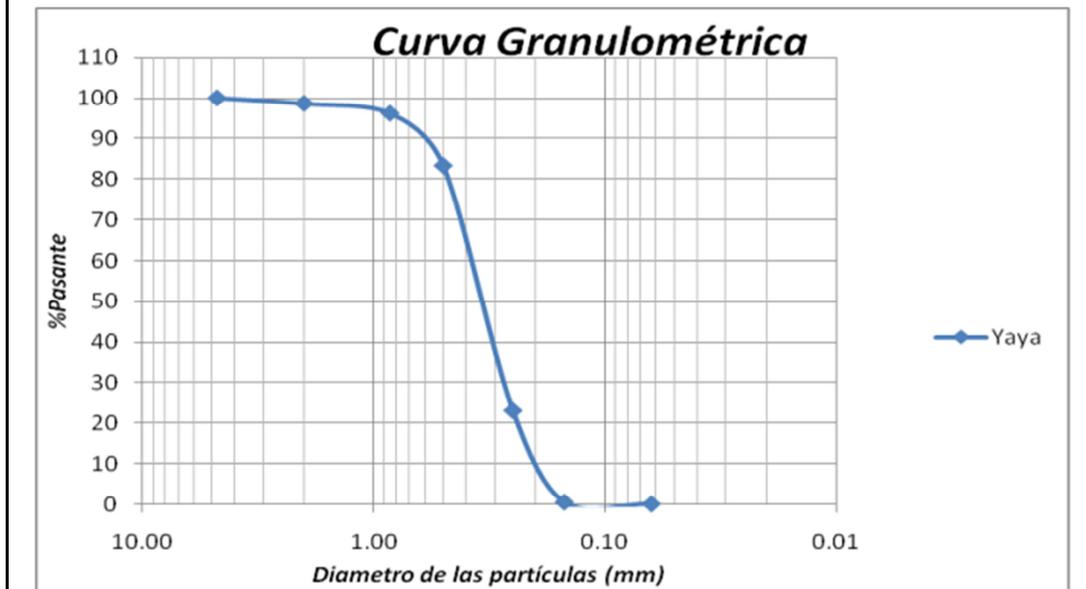


Figura A.2 Curva granulométrica de las muestras tomadas del lecho milla 138.4, del sector Yaya del canal de navegación del río Orinoco.

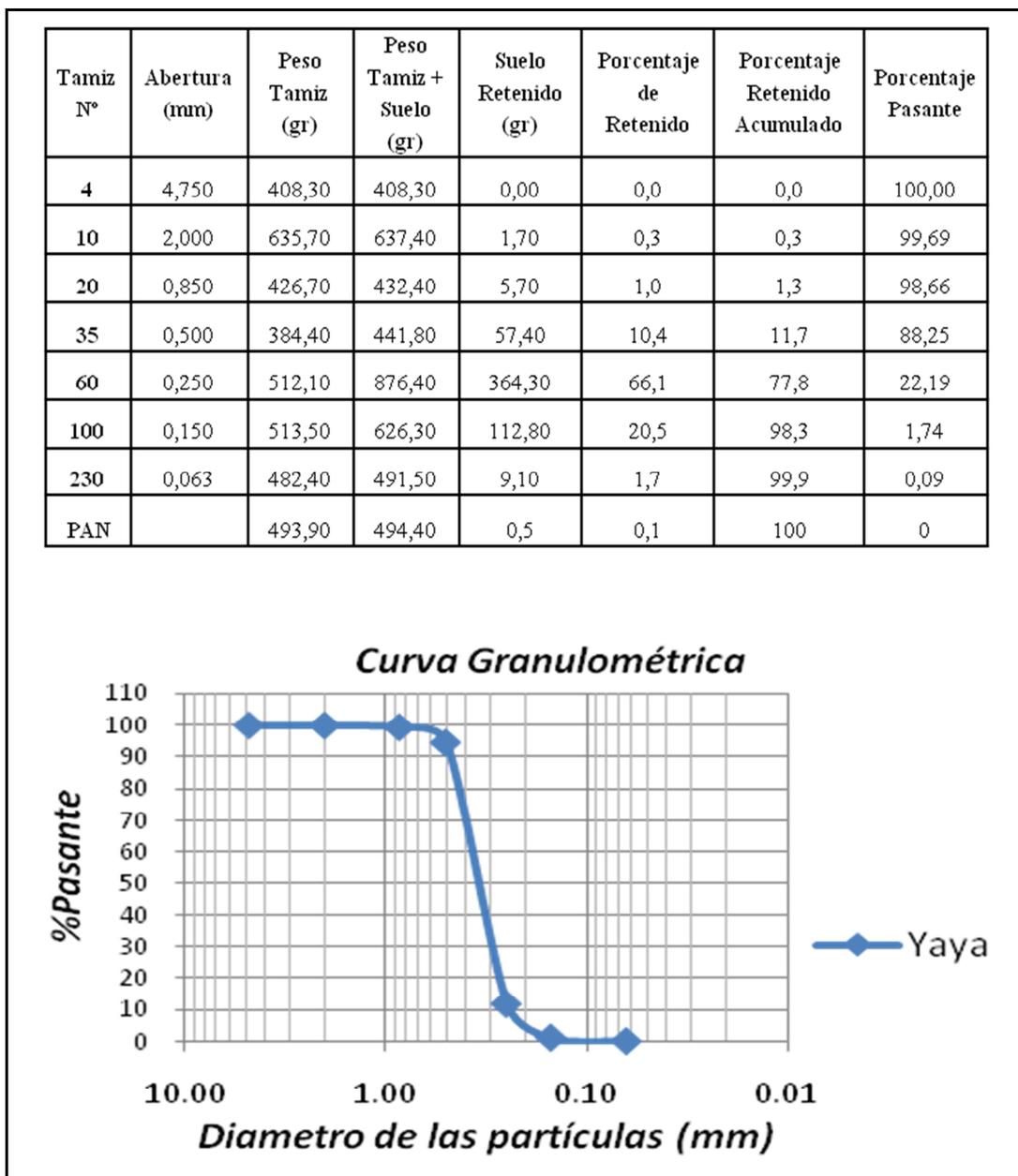


Figura A.3 Curva granulométrica de las muestras tomadas del lecho milla 138.9, del sector Yaya del canal de navegación del río Orinoco.

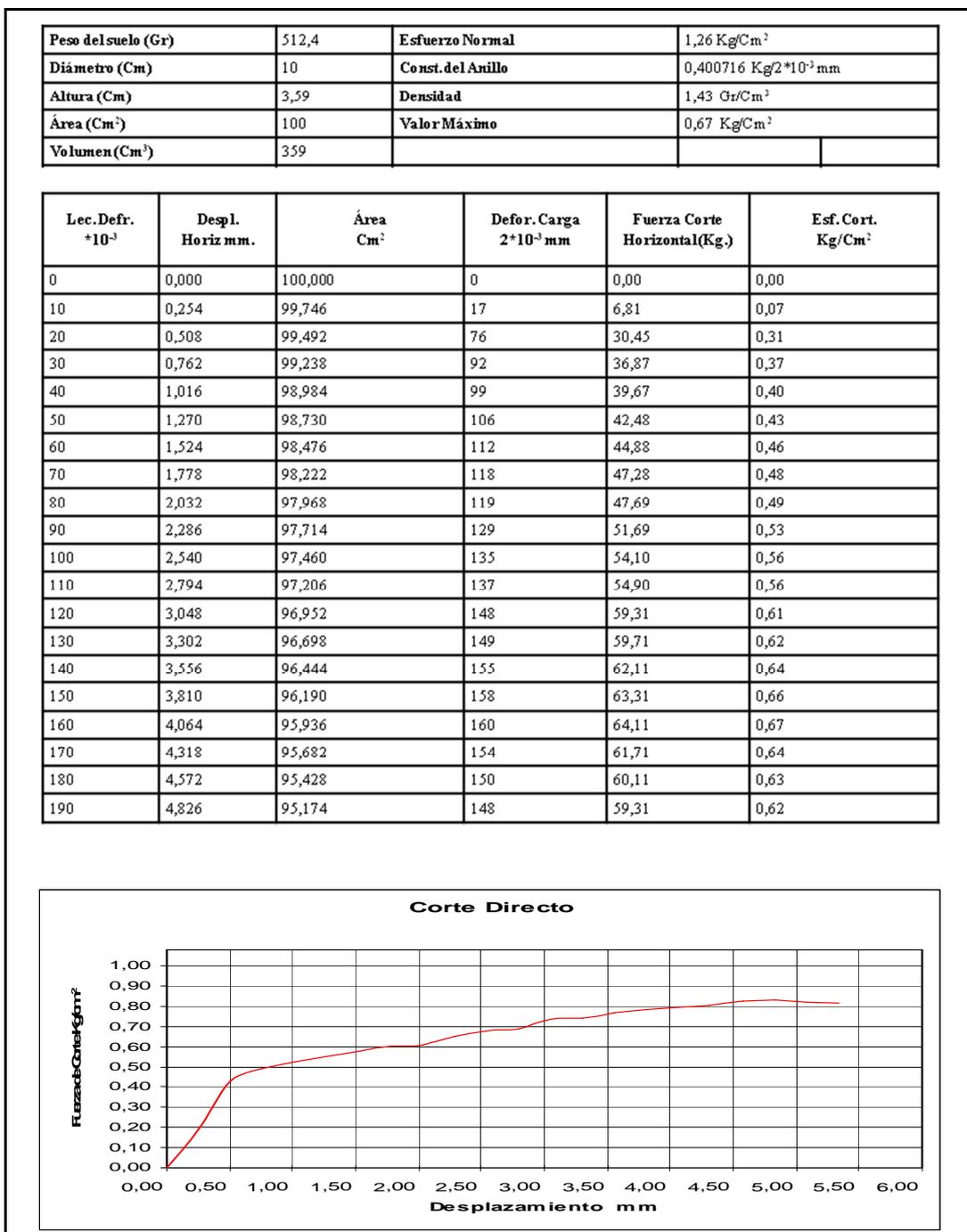


Figura A.4 Representación de Ensayo de Corte Directo no consolidado drenado, con una carga de 100kg, realizado a la muestra tomada en la milla 138.4 del sector Yaya del Canal de Navegación del río Orinoco.

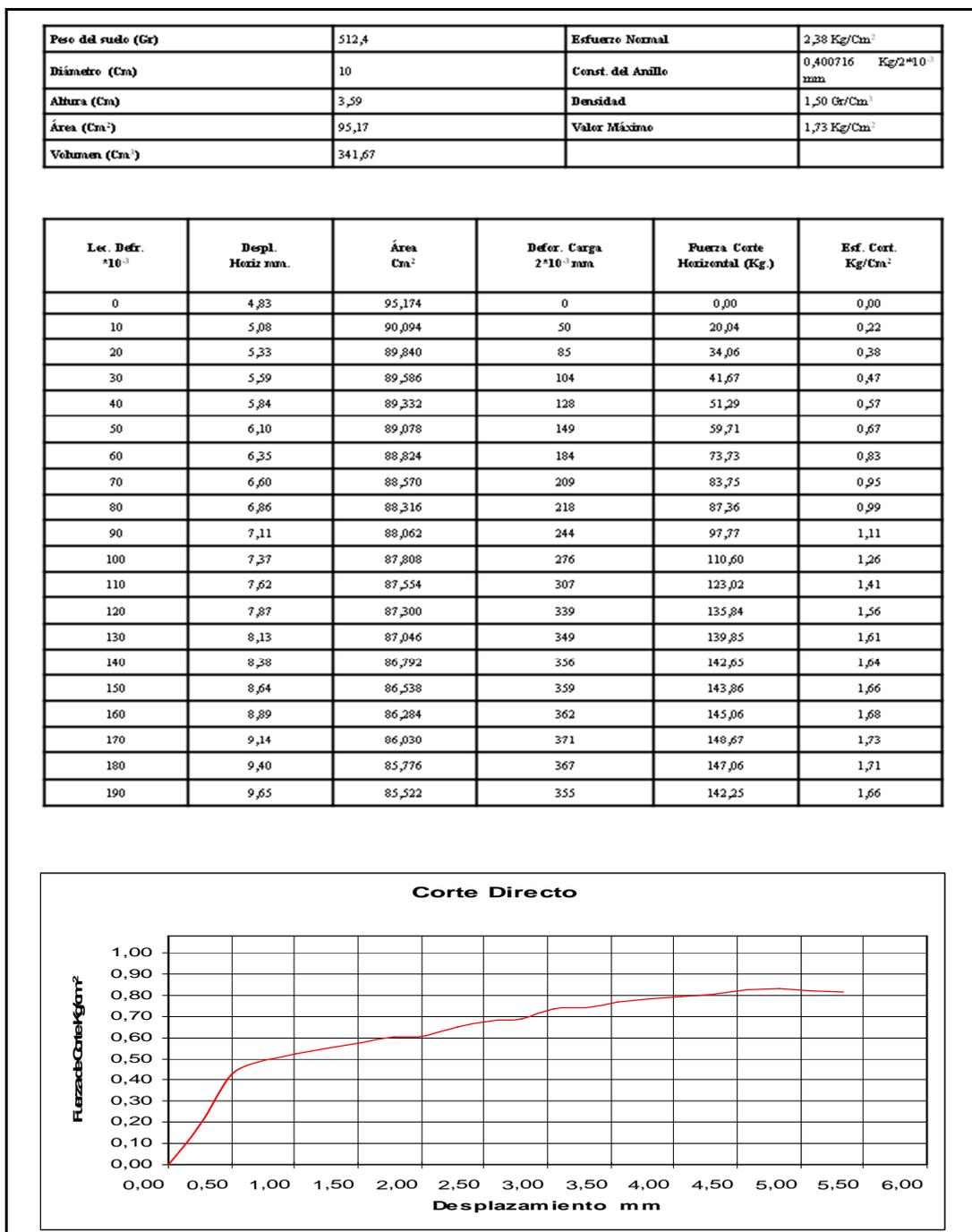


Figura A.5 Representación de Ensayo de Corte Directo no consolidado drenado, con una carga de 200kg, realizado a la muestra tomada en la milla 138.4 del sector Yaya del Canal de Navegación del río Orinoco.

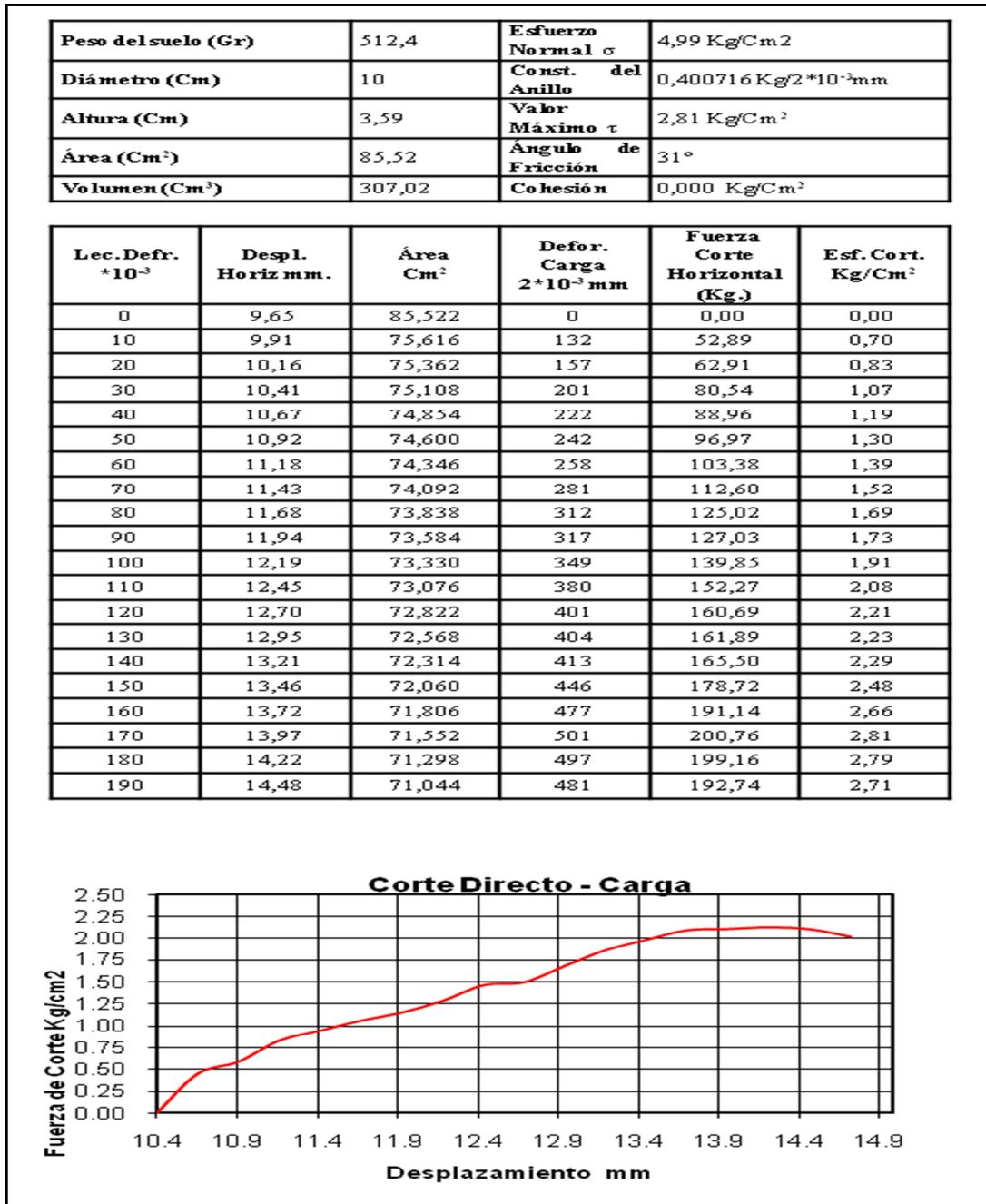


Figura A.6 Representación de Ensayo de Corte Directo no consolidado drenado, con una carga de 400kg, realizado a la muestra tomada en la milla 138.4 del sector Yaya del Canal de Navegación del río Orinoco.

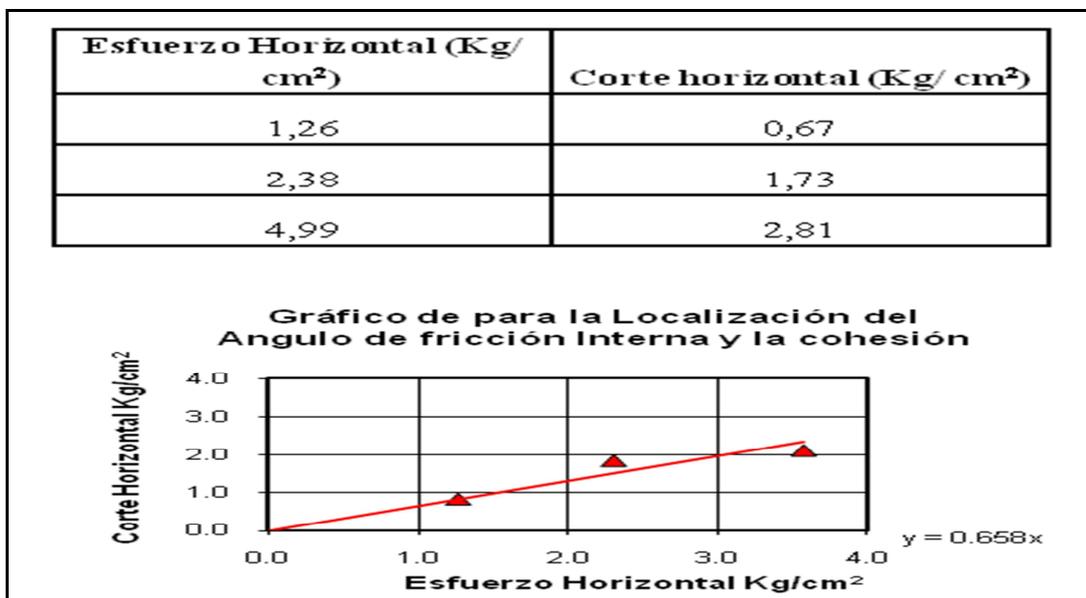


Figura A.7 Representación de Ensayo de Corte Directo no consolidado drenado, con las fuerzas resultantes y el ángulo de fricción interna, realizado a la muestra tomada en la milla 138.4, del Canal de Navegación del río Orinoco.

Tabla A.8 Datos generados a partir del análisis de forma de las muestras ubicadas en las millas 135.5, 138.4 y 139.1, perteneciente al sector Yaya del canal de navegación del río Orinoco.

MUESTRA	FORMA DE LA PARTICULA	FRECUENCIA ABSOLUTA (UNIDAD)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
Milla 135.5	angular	57	28,5
	sub-angular	103	51,5
	sub-redondeada	30	15
	redondeada	10	5
Milla 138.4	angular	15	7,5
	sub-angular	98	49
	sub-redondeada	75	37,5
	redondeada	12	6
Milla 139.1	angular	28	14
	sub-angular	82	41
	sub-redondeada	76	38
	redondeada	14	7

**Apéndices B**  
**Datos hidráulicos**

Tabla B.1 Niveles máximos, promedios y mínimos de la milla 136.5, durante el periodo 1.943 a 2.009 del canal de navegación del río Orinoco.

<b>Meses</b>	<b>Máximos (m)</b>	<b>Promedios (m)</b>	<b>Mínimos (m)</b>
Enero	2.53	1.5	0.68
Febrero	1.94	0.84	0.41
Marzo	1.6	0.7	0.36
Abril	2.17	1.01	0.42
Mayo	5.1	2.48	0.92
Junio	6.53	4.8	2.2
Julio	8.07	6.59	4.08
Agosto	8.13	7.59	6.12
Septiembre	7.99	7.28	5.65
Octubre	7.07	5.93	3.92
Noviembre	6.34	4.23	2.59
Diciembre	4.98	2.76	1.61

Tabla B.2 Datos de caudal líquido, velocidad media y niveles del río de la sección de aforo Final I. Varadero, ubicada en la milla 139.2 del sector Yaya.

<b>Nivel (m)</b>	<b>Velocidad media (m/seg)</b>	<b>Caudal Líquido (m<sup>3</sup>/seg)</b>
4.27	1.11	17648.54
0.66	0.24	2660.73
3.07	0.77	11358.19
2.84	0.71	10949.64
2.96	0.81	11645.25
0.92	0.47	5774.55
6.38	0.98	18951.82
7.32	1.11	24137.40
2.48	0.64	9038.61
0.8	0.40	4835.29

Tabla B.3 Datos de la sección transversal número 1 del sector Yaya perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 1		Sección 1		Sección 1	
Corrección 5.75		Corrección 5.75		Corrección 5.75	
Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)	Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)	Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-4.65	600	-25.05	1300
-4.85	20	-5.15	630	-26.15	1325
-17.35	30	-5.85	655	-27.75	1355
-22.45	60	-5.65	685	-28.55	1380
-20.45	85	-5.65	720	-30.25	1410
-18.25	110	-7.05	745	-30.15	1430
-15.35	135	-7.75	775	-29.25	1470
-13.35	160	-8.05	805	-29.35	1500
-12.35	185	-9.35	835	-28.55	1530
-11.55	215	-9.65	865	-29.25	1560
-10.75	240	-10.55	895	-29.05	1585
-9.95	270	-10.35	925	-28.35	1610
-7.95	300	-10.95	950	-26.05	1645
-6.95	330	-11.95	985	-23.45	1670
-6.35	360	-13.65	1015	-22.95	1695
-5.85	380	-15.05	1040	-28.55	1725
-5.55	400	-16.15	1070	-33.45	1755
-5.15	425	-17.85	1100	-30.85	1780
-5.05	455	-19.65	1130	-24.45	1805
-5.05	480	-19.25	1190	-18.35	1825
-4.95	510	-20.55	1220	-6.75	1840
-4.85	540	-23.15	1250	-4.35	1860
-4.75	575	-23.95	1275	0	1900

Tabla B.4 Datos de la sección transversal número 2 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 2		Sección 2		Sección 2	
Corrección 5.75		Corrección 5.75		Corrección 5.75	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-7.35	700	-22.35	1410
-5.45	20	-6.95	730	-24.25	1440
-6.65	35	-6.85	755	-27.75	1470
-11.05	65	-6.85	785	-28.55	1500
-11.05	90	-6.95	810	-30.05	1530
-10.35	115	-6.75	835	-29.65	1555
-9.95	145	-7.25	870	-31.15	1585
-9.95	175	-7.75	900	-29.55	1615
-9.75	205	-7.55	925	-30.95	1645
-9.45	235	-7.85	955	-30.65	1665
-9.85	265	-8.25	980	-29.45	1695
-8.95	295	-8.55	1010	-30.95	1725
-7.95	325	-9.55	1035	-28.35	1755
-7.45	355	-9.95	1065	-26.05	1785
-7.15	385	-10.75	1095	-13.05	1815
-7.65	410	-12.55	1125	-8.05	1840
-6.85	440	-12.75	1150	-7.65	1870
-6.95	470	-13.05	1180	-6.25	1890
-6.75	500	-14.05	1210	-6.25	1950
-7.45	525	-13.85	1240	-5.35	1965
-7.05	555	-13.85	1270	-5.05	1980
-7.15	580	-15.15	1300	-4.55	2015
-7.05	610	-16.45	1325	0	2060
-6.35	640	-18.85	1350		
-6.25	670	-20.55	1385		

Tabla B.5 Datos de la sección transversal número 3 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 3		Sección 3		Sección 3	
Corrección 5.75		Corrección 5.75		Corrección 5.75	
Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)	Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)	Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-8.55	710	-20.45	1440
-6.65	20	-7.75	740	-20.65	1470
-8.85	50	-7.25	770	-20.95	1500
-8.55	80	-7.35	800	-21.55	1530
-8.65	110	-7.25	825	-22.75	1560
-8.75	135	-7.65	855	-24.15	1585
-9.75	165	-7.55	880	-27.25	1615
-9.85	195	-7.65	910	-31.15	1645
-9.35	220	-7.95	940	-31.35	1675
-9.05	250	-8.25	975	-32.15	1700
-8.75	275	-9.35	1000	-32.45	1725
-8.25	305	-10.15	1030	-32.55	1750
-8.45	335	-10.65	1060	-33.85	1780
-8.55	360	-9.55	1090	-33.55	1800
-8.15	390	-10.95	1115	-27.95	1825
-8.75	420	-11.05	1140	-27.55	1850
-8.95	450	-11.65	1175	-24.05	1875
-9.45	475	-12.05	1205	-11.15	1905
-8.95	505	-12.25	1230	-9.45	1940
-8.35	535	-13.15	1265	-6.65	1965
-6.15	565	-13.85	1295	-5.25	1985
-7.05	595	-15.15	1325	-5.35	2005
-8.05	625	-16.55	1355	0	2060
-8.25	650	-16.85	1385		
-8.55	680	-17.75	1415		

Tabla B.6 Datos de la sección transversal número 4 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 4		Sección 4		Sección 4	
Corrección 5.75		Corrección 5.75		Corrección 5.75	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-7.35	700	-22.35	1410
-5.45	20	-6.95	730	-24.25	1440
-6.65	35	-6.85	755	-27.75	1470
-11.05	65	-6.85	785	-28.55	1500
-11.05	90	-6.95	810	-30.05	1530
-10.35	115	-6.75	835	-29.65	1555
-9.95	145	-7.25	870	-31.15	1585
-9.95	175	-7.75	900	-29.55	1615
-9.75	205	-7.55	925	-30.95	1645
-9.45	235	-7.85	955	-30.65	1665
-9.85	265	-8.25	980	-29.45	1695
-8.95	295	-8.55	1010	-30.95	1725
-7.95	325	-9.55	1035	-28.35	1755
-7.45	355	-9.95	1065	-26.05	1785
-7.15	385	-10.75	1095	-13.05	1815
-7.65	410	-12.55	1125	-8.05	1840
-6.85	440	-12.75	1150	-7.65	1870
-6.95	470	-13.05	1180	-6.25	1890
-6.75	500	-14.05	1210	-6.25	1950
-7.45	525	-13.85	1240	-5.35	1965
-7.05	555	-13.85	1270	-5.05	1980
-7.15	580	-15.15	1300	-4.55	2015
-7.05	610	-16.45	1325	0	2060
-6.35	640	-18.85	1350		
-6.25	670	-20.55	1385		

Tabla B.7 Datos de la sección transversal número 5 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 5		Sección 5		Sección 5	
Corrección 5.75		Corrección 5.75		Corrección 5.75	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-8.35	690	-17.45	1405
-8.35	30	-8.35	720	-18.15	1430
-8.55	40	-9.55	750	-19.35	1460
-9.35	55	-10.55	780	-20.05	1485
-9.35	70	-10.55	805	-20.25	1520
-8.95	90	-9.95	835	-19.75	1550
-8.75	120	-9.25	865	-20.45	1580
-8.85	155	-9.65	895	-22.15	1610
-9.05	185	-11.05	925	-24.15	1640
-9.25	215	-11.25	950	-25.55	1720
-8.55	245	-11.45	975	-26.95	1750
-8.35	275	-10.45	1005	-28.35	1775
-8.55	305	-10.55	1035	-27.25	1805
-8.15	340	-12.55	1065	-27.15	1835
-8.25	370	-12.35	1090	-26.95	1865
-9.25	400	-11.25	1120	-26.45	1895
-8.15	425	-11.25	1150	-26.75	1925
-8.35	460	-12.95	1175	-24.85	1950
-8.85	490	-13.55	1205	-29.95	1980
-8.65	520	-13.25	1230	-31.95	2005
-8.75	550	-13.75	1260	-20.85	2040
-8.55	575	-15.05	1285	-6.45	2070
-8.45	605	-15.85	1315	-5.15	2085
-8.65	635	-16.55	1345	-4.65	2100
-8.25	675	-16.85	1375	0	2120

Tabla B.8 Datos de la sección transversal número 6 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 6		Sección 6		Sección 6	
Corrección 5.75		Corrección 5.75		Corrección 5.75	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-12.05	760	-16.75	1520
-7.25	30	-11.85	790	-16.55	1550
-8.45	40	-11.75	825	-16.65	1580
-8.85	65	-12.75	850	-17.15	1610
-9.05	85	-13.75	875	-18.15	1635
-9.55	120	-14.35	900	-18.85	1665
-10.25	150	-14.45	930	-19.95	1695
-10.25	180	-14.55	955	-21.25	1725
-10.55	210	-14.55	985	-20.75	1750
-10.55	240	-14.45	1015	-20.95	1775
-10.75	270	-14.35	1040	-20.85	1805
-11.55	300	-13.65	1070	-20.15	1835
-11.35	330	-13.25	1095	-19.95	1865
-10.95	360	-13.25	1125	-19.55	1895
-11.45	390	-14.35	1150	-19.85	1930
-11.95	420	-13.75	1180	-20.45	1955
-10.75	450	-14.15	1205	-21.65	1985
-11.35	475	-14.05	1235	-22.15	2010
-12.15	505	-13.95	1265	-21.55	2040
-11.65	535	-15.15	1290	-21.55	2075
-12.15	565	-15.05	1320	-7.35	2090
-11.65	595	-14.95	1345	-5.55	2115
-12.15	625	-15.05	1375	-4.95	2150
-11.65	650	-14.95	1405	-4.65	2175
-12.15	680	-14.95	1430	0	2200
-11.75	710	-15.55	1460		
-12.15	740	-16.35	1485		

Tabla B.9 Datos de la sección transversal número 7 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 7		Sección 7		Sección 7	
Corrección 6.05		Corrección 6.05		Corrección 6.05	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-15.95	720	-16.15	1435
-7.85	25	-15.85	745	-17.85	1495
-9.35	40	-14.85	765	-18.25	1525
-10.45	70	-15.15	805	-18.65	1555
-11.05	90	-15.15	830	-18.55	1585
-11.75	125	-16.75	865	-20.05	1615
-12.05	155	-16.05	890	-23.05	1650
-12.75	195	-15.45	925	-20.55	1685
-13.15	220	-15.15	950	-20.25	1715
-13.15	250	-15.45	980	-19.45	1750
-13.85	285	-15.15	1015	-19.35	1780
-15.05	315	-15.45	1045	-20.45	1810
-13.55	345	-14.75	1075	-19.55	1840
-14.05	355	-14.95	1105	-19.55	1870
-14.95	410	-15.25	1130	-19.25	1900
-14.75	440	-14.45	1165	-17.75	1930
-15.25	470	-13.95	1195	-17.05	1960
-15.15	505	-14.15	1225	-14.35	1985
-15.65	535	-13.75	1255	-12.05	2010
-16.45	565	-13.55	1280	-5.55	2050
-15.45	595	-14.25	1315	-4.85	2080
-15.15	625	-15.15	1345	0	2100
-15.25	655	-15.75	1375		
-15.65	685	-15.95	1405		

Tabla B.10 Datos de la sección transversal número 8 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 8		Sección 8		Sección 8	
Corrección 6.05		Corrección 6.05		Corrección 6.05	
Profundida d (m)	Dist. Acum. φ(m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. φ(m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. φ(m)
0	0	-18.15	600	-15.55	1240
-4.85	40	-17.85	625	-17.05	1270
-9.05	60	-17.95	655	-16.85	1305
-11.45	80	-18.55	685	-17.15	1335
-13.85	100	-19.05	715	-17.85	1370
-14.55	125	-18.85	750	-18.35	1405
-15.55	155	-18.05	780	-19.85	1435
-14.15	190	-17.15	815	-18.65	1470
-15.35	220	-16.25	850	-19.65	1500
-16.35	250	-16.35	885	-20.05	1530
-14.85	280	-14.85	910	-21.55	1565
-14.45	310	-13.85	945	-21.75	1590
-14.65	345	-14.45	980	-21.55	1615
-15.35	375	-15.55	1010	-19.85	1650
-17.05	405	-15.95	1045	-18.25	1685
-18.45	435	-16.35	1080	-18.15	1725
-18.15	470	-16.85	1105	-12.75	1755
-16.75	500	-15.65	1140	-11.75	1775
-16.55	535	-15.25	1175	-5.45	1800
-17.15	570	-15.25	1205	0	1825

Tabla B.11 Datos de la sección transversal número 9 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 9		Sección 9		Sección 9	
Corrección 6.05		Corrección 6.05		Corrección 6.05	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-17.95	645	-15.35	1275
-6.75	25	-16.75	665	-14.95	1305
-10.25	40	-17.35	695	-15.35	1340
-10.35	70	-18.05	725	-15.55	1365
-10.15	95	-17.15	755	-15.05	1400
-12.95	125	-18.55	795	-16.85	1430
-15.25	160	-17.95	810	-17.45	1460
-18.05	190	-16.55	840	-17.65	1495
-18.25	220	-15.95	870	-18.05	1520
-19.45	250	-16.55	900	-19.35	1555
-20.55	280	-15.95	925	-21.05	1585
-22.25	310	-16.55	960	-21.05	1615
-22.25	340	-16.35	985	-20.45	1650
-22.45	370	-15.05	1015	-20.25	1690
-23.45	400	-14.65	1045	-20.65	1725
-22.95	430	-14.55	1075	-19.45	1755
-21.95	460	-14.65	1105	-17.45	1770
-21.25	490	-15.35	1130	-8.95	1800
-21.25	520	-15.25	1160	-5.25	1830
-20.55	550	-15.65	1190	0	1865
-19.95	580	-15.55	1215		
-19.35	615	-15.35	1245		

Tabla B.12 Datos de la sección transversal número 10 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 10		Sección 10		Sección 10	
Corrección 6.05		Corrección 6.05		Corrección 6.05	
Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)	Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)	Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-19.95	595	-14.85	1215
-7.95	40	-18.35	630	-15.35	1245
-11.15	55	-17.65	655	-15.45	1280
-15.95	85	-16.75	690	-14.25	1315
-19.15	115	-16.05	725	-12.55	1345
-21.15	150	-15.95	755	-14.45	1380
-21.85	180	-16.15	790	-14.15	1445
-23.25	210	-16.05	800	-15.75	1475
-24.45	245	-16.35	855	-18.45	1510
-22.55	280	-16.05	890	-21.25	1545
-22.05	310	-16.25	925	-22.25	1580
-21.45	345	-15.65	955	-22.15	1610
-21.35	380	-15.45	985	-22.65	1640
-21.65	410	-15.05	1020	-21.35	1660
-21.95	440	-14.65	1050	-19.05	1675
-20.55	465	-14.45	1085	-15.65	1690
-20.35	495	-14.45	1115	-11.85	1705
-20.75	530	-13.95	1150	-5.25	1725
-20.25	560	-14.15	1180	0	1750

Tabla B.13 Datos de la sección transversal número 11 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 11		Sección 11		Sección 11	
Corrección 6.05		Corrección 6.05		Corrección 6.05	
Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)	Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)	Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-19.45	610	-14.85	1295
-6.55	30	-18.25	645	-14.25	1330
-8.55	40	-17.45	670	-14.55	1365
-9.85	60	-16.85	700	-13.55	1390
-10.55	75	-16.55	730	-13.45	1420
-11.85	100	-16.25	760	-12.55	1450
-16.05	130	-16.35	790	-11.55	1485
-19.95	155	-16.55	820	-10.85	1510
-21.15	185	-15.75	850	-10.55	1540
-22.35	215	-15.35	880	-11.35	1575
-23.05	245	-14.95	910	-12.55	1600
-23.25	275	-14.15	935	-12.55	1630
-24.05	300	-13.85	965	-13.65	1665
-24.25	330	-13.55	995	-14.55	1700
-23.65	360	-13.15	1025	-14.45	1730
-22.75	390	-12.95	1050	-14.15	1760
-21.95	420	-13.55	1080	-13.75	1795
-21.65	445	-13.15	1110	-13.95	1825
-21.55	470	-12.95	1150	-11.45	1850
-21.25	500	-13.55	1175	-8.55	1875
-21.95	530	-13.35	1200	-7.35	1905
-21.25	560	-14.25	1235	0	2000
-21.15	585	-13.95	1265		

Tabla B.14 Datos de la sección transversal número 12 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 12		Sección 12		Sección 12	
Corrección 6.05		Corrección 6.05		Corrección 6.05	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-18.85	795	-9.75	1600
-7.65	45	-18.15	815	-8.35	1625
-8.85	65	-18.25	850	-7.75	1655
-8.75	100	-18.35	875	-7.35	1690
-9.55	130	-18.15	910	-8.45	1725
-10.35	165	-16.05	940	-9.15	1750
-11.15	200	-16.05	975	-9.05	1785
-12.05	230	-15.55	1005	-9.15	1825
-14.85	265	-15.55	1045	-8.55	1850
-17.95	305	-14.65	1075	-8.95	1880
-20.65	335	-13.95	1110	-9.15	1910
-21.35	370	-13.15	1140	-10.05	1945
-23.65	400	-12.85	1175	-10.95	1970
-23.85	430	-12.55	1205	-11.05	2000
-21.75	465	-12.25	1235	-10.65	2025
-21.95	495	-12.85	1265	-9.15	2065
-22.95	520	-13.15	1300	-7.25	2095
-23.85	560	-13.95	1335	-6.85	2115
-24.35	590	-12.85	1365	-6.75	2135
-23.95	625	-12.35	1400	-6.15	2150
-24.75	665	-14.15	1430	-5.35	2160
-21.35	690	-13.05	1495	0	2180
-20.85	725	-11.65	1530		
-19.55	775	-11.05	1560		

Tabla B.15 Datos de la sección transversal número 13 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 13		Sección 13		Sección 13	
Corrección 6.05		Corrección 6.05		Corrección 6.05	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-21.25	615	-14.95	1260
-6.95	35	-20.45	650	-15.15	1300
-10.45	50	-20.45	675	-15.15	1330
-10.15	65	-19.85	700	-15.65	1360
-9.75	85	-19.05	730	-13.85	1390
-9.45	110	-19.15	760	-12.65	1425
-9.05	140	-19.95	790	-12.45	1450
-8.75	170	-21.75	820	-11.85	1475
-9.05	200	-20.45	850	-12.95	1510
-9.65	230	-20.35	880	-11.85	1540
-10.05	260	-20.25	910	-12.85	1570
-10.45	285	-20.65	935	-11.35	1600
-11.45	315	-19.95	970	-10.95	1635
-12.35	350	-18.05	1000	-9.25	1660
-14.25	375	-17.35	1025	-7.75	1695
-15.85	405	-16.45	1060	-5.45	1735
-17.45	435	-16.35	1090	-4.75	1750
-19.15	470	-15.85	1120	-4.05	1765
-20.65	495	-15.45	1150	0.05	1785
-20.45	525	-14.85	1175	0	1800
-19.65	550	-15.05	1210		
-20.25	585	-15.15	1235		

Tabla B.16 Datos de la sección transversal número 14 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 14		Sección 14		Sección 14	
Corrección 6.05		Corrección 6.05		Corrección 6.05	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-19.05	650	-15.05	1275
-4.25	30	-20.15	675	-14.25	1305
-8.45	50	-20.85	700	-14.15	1345
-9.25	70	-21.85	735	-13.95	1375
-8.95	105	-22.95	765	-15.55	1405
-9.05	140	-23.25	800	-16.05	1440
-9.25	170	-23.75	825	-16.85	1475
-9.15	200	-23.15	860	-17.15	1510
-8.85	235	-22.75	885	-20.35	1540
-9.05	265	-22.15	915	-17.25	1560
-8.95	290	-21.15	950	-14.85	1595
-9.05	330	-21.35	975	-11.35	1630
-9.45	360	-21.55	1010	-9.15	1660
-10.05	395	-21.75	1035	-7.05	1685
-11.25	425	-20.05	1070	-5.55	1720
-12.45	455	-19.75	1100	-5.55	1735
-13.45	485	-19.15	1130	-5.45	1760
-15.85	520	-18.55	1160	-5.05	1785
-16.55	550	-17.45	1195	0	1800
-17.65	590	-17.05	1220		
-17.85	615	-15.95	1250		

Tabla B.17 Datos de la sección transversal número 15 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 15		Sección 15		Sección 15	
Corrección 6.05		Corrección 6.05		Corrección 6.05	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-17.05	665	-14.55	1390
-3.55	15	-17.55	690	-13.15	1425
-6.45	30	-19.45	725	-13.45	1450
-8.85	50	-20.65	760	-13.75	1480
-8.85	70	-21.85	790	-11.95	1515
-8.35	100	-20.95	820	-11.35	1550
-8.55	130	-22.05	850	-10.65	1580
-8.75	160	-22.55	880	-10.35	1615
-8.55	195	-21.35	910	-10.05	1650
-8.35	225	-19.85	940	-7.05	1685
-8.65	255	-19.65	975	-6.35	1720
-8.25	285	-20.95	1010	-6.85	1750
-8.35	315	-20.65	1040	-7.25	1785
-8.35	350	-19.55	1075	-6.85	1820
-8.45	380	-19.25	1105	-6.85	1855
-8.55	410	-19.55	1140	-6.65	1895
-9.05	440	-19.25	1170	-7.95	1925
-10.45	475	-18.65	1200	-7.05	1955
-11.75	510	-18.35	1230	-6.15	1975
-13.35	540	-18.45	1270	-6.35	1985
-14.65	570	-17.85	1300	-5.35	1995
-14.95	600	-16.75	1330	0	2030
-17.05	630	-15.15	1360		

Tabla B.18 Datos de la sección transversal número 16 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 16		Sección 16		Sección 16	
Corrección 6.05		Corrección 6.05		Corrección 6.05	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-17.95	760	-12.85	1475
-4.35	30	-17.25	790	-12.35	1500
-7.75	50	-18.55	815	-11.85	1535
-7.85	75	-20.75	840	-6.85	1565
-8.45	110	-19.95	865	-6.25	1590
-8.05	145	-20.75	895	-5.75	1620
-7.55	175	-20.75	925	-5.95	1650
-7.65	205	-22.15	950	-5.25	1675
-7.45	240	-24.55	980	-5.55	1700
-7.25	270	-23.35	1010	-5.35	1725
-7.25	300	-22.65	1040	-5.05	1755
-7.35	330	-22.25	1070	-5.15	1780
-7.85	360	-21.25	1100	-5.75	1810
-7.75	395	-21.15	1125	-5.15	1835
-8.05	425	-21.05	1150	-5.45	1860
-8.45	450	-20.45	1180	-5.05	1885
-8.85	480	-20.15	1215	-5.25	1910
-9.05	510	-17.15	1245	-5.25	1935
-9.65	540	-16.65	1265	-5.75	1965
-10.85	575	-15.85	1300	-5.25	1995
-12.45	605	-15.15	1325	-5.15	2025
-13.15	635	-14.85	1355	-5.05	2050
-15.35	665	-14.35	1385	0	2075
-14.35	695	-13.95	1415		
-16.15	725	-13.65	1445		

Tabla B.19 Datos de la sección transversal número 17 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 17		Sección 17		Sección 17	
Corrección 6.10		Corrección 6.10		Corrección 6.10	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-15.1	750	-12.8	1450
-6.5	35	-15.3	780	-11.9	1480
-7.9	60	-16.3	810	-12.1	1510
-6.5	90	-17.2	845	-11.7	1540
-5.5	120	-16.4	875	-11	1560
-5.1	150	-17.8	900	-10	1600
-4.8	180	-17.3	935	-9.3	1625
-4.9	215	-19.4	960	-8.6	1650
-4.7	245	-20.9	985	-8.4	1680
-5.2	270	-21.2	1010	-8.8	1705
-5.7	300	-21.8	1035	-7.9	1730
-6.1	320	-22	1060	-7.7	1760
-6.6	330	-22.9	1100	-7.9	1785
-6.8	360	-22.7	1125	-7.1	1815
-6.3	390	-22.9	1150	-6.8	1850
-6.4	420	-22.2	1175	-7.2	1875
-7.5	450	-21.7	1205	-7.5	1900
-7.7	480	-22.2	1230	-6.9	1925
-8.9	510	-21	1260	-6.1	1950
-9.4	540	-19.5	1295	-6.7	1975
-9.1	570	-17.9	1320	-7	2010
-9.9	630	-16.3	1350	-6.8	2035
-10.4	665	-14.9	1375	-5.7	2065
-11.8	695	-14.4	1400	-6.6	2090
-13.5	720	-13.8	1425	0	2175

Tabla B.20 Datos de la sección transversal número 18 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 18		Sección 18		Sección 18	
Corrección 6.10		Corrección 6.10		Corrección 6.10	
Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)	Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)	Profundidad (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-8.9	630	-16.4	1385
-4.1	45	-9.8	655	-15.1	1420
-4.3	60	-12	710	-14.3	1455
-4.5	75	-12.1	750	-13.2	1490
-4.8	90	-12.3	780	-11.9	1525
-4.9	110	-13.5	810	-11.4	1555
-7.1	135	-14.6	845	-11.2	1595
-5.1	160	-14.9	875	-10.9	1625
-3.1	195	-15.6	905	-10.3	1665
-6	225	-15.1	945	-10.2	1700
-5.7	255	-15.9	975	-10.3	1730
-6	290	-17.3	1010	-9.4	1770
-7	315	-18.3	1040	-9.8	1800
-7.2	350	-19.1	1075	-7.6	1830
-6.8	385	-20.1	1110	-8	1870
-6.2	410	-20.7	1145	-6.9	1900
-6.3	440	-20.9	1175	-7.1	1940
-7.5	475	-20.9	1210	-7.2	1970
-7.3	505	-19.7	1245	-8.4	2005
-8.7	540	-18.7	1275	-7.7	2045
-8.1	570	-18.4	1310	0	2150
-8.8	600	-18.2	1350		

Tabla B.21 Datos de la sección transversal número 19 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 19		Sección 19		Sección 19	
Corrección 6.10		Corrección 6.10		Corrección 6.10	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-8.1	645	-16.1	1475
-3	50	-8	665	-15	1500
-2.7	60	-7.6	690	-14.3	1535
-2.5	70	-7.5	720	-15.6	1560
-2.6	80	-9.4	755	-14.5	1595
-2.5	90	-9.2	785	-12.1	1620
-2.4	105	-11.6	815	-11.6	1645
-2.3	120	-12	845	-11.6	1675
-2.2	140	-13.5	875	-11.2	1700
-2.1	160	-11.6	900	-12.2	1725
-2	180	-11.1	930	-12.7	1750
-2.1	195	-11.1	960	-12.5	1780
-2.2	215	-10.9	990	-12.7	1805
-2.2	245	-9.7	1020	-13	1830
-2.4	265	-9.7	1050	-11.4	1855
-2.6	285	-9.5	1075	-12	1885
-2.8	300	-9.9	1100	-12.4	1910
-3.1	325	-11	1125	-12.4	1940
-3.5	345	-10.4	1160	-12.5	1965
-3.7	365	-10.8	1190	-12.6	1995
-3.7	385	-11.4	1220	-12.4	2020
-4.1	410	-12.4	1250	-12.6	2045
-4.2	435	-12.9	1275	-12.4	2070
-4.8	460	-13.4	1300	-12.4	2100
-5.1	490	-14.8	1330	-12.2	2125
-6.2	520	-17	1360	-11.8	2150
-6.5	550	-17.8	1385	-11.4	2200
-5.8	580	-18.6	1420	0	2235
-6.5	610	-17.4	1450		

Tabla B.22 Datos de la sección transversal número 20 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 20		Sección 20		Sección 20	
Corrección 6.82		Corrección 6.82		Corrección 6.82	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-6.42	590	-19.32	1395
-3.72	50	-8.82	620	-18.12	1425
-3.42	60	-8.72	650	-16.82	1455
-3.22	70	-8.32	675	-15.72	1500
-3.32	80	-8.22	700	-15.02	1515
-3.22	90	-10.12	730	-16.32	1545
-3.12	100	-9.92	765	-15.22	1570
-3.02	125	-12.32	790	-12.82	1600
-2.92	145	-12.72	820	-12.32	1625
-2.82	165	-14.22	850	-12.32	1650
-2.72	185	-12.32	880	-11.92	1675
-2.82	200	-11.82	905	-12.92	1710
-2.92	220	-11.82	935	-13.42	1735
-2.92	235	-11.62	965	-13.22	1760
-3.12	250	-10.42	995	-13.42	1790
-3.32	270	-10.42	1025	-13.72	1815
-3.52	290	-10.22	1050	-12.12	1845
-3.82	310	-10.62	1075	-12.72	1865
-4.22	330	-11.72	1110	-13.12	1895
-4.42	350	-11.12	1135	-13.12	1920
-4.42	370	-11.52	1170	-13.22	1950
-4.82	390	-12.12	1200	-13.32	1975
-4.92	415	-13.12	1225	-13.12	2000
-5.52	440	-13.62	1250	-13.32	2030
-5.82	470	-14.12	1280	-13.12	2055
-6.92	500	-15.52	1310	-13.12	2080
-7.22	525	-17.72	1345	-12.92	2110
-6.52	555	-18.52	1370	0	2150

Tabla B.23 Datos de la sección transversal número 21 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 21		Sección 21		Sección 21	
Corrección 6.82		Corrección 6.82		Corrección 6.82	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-13.62	655	-15.12	1295
-5.82	10	-12.52	685	-13.72	1325
-8.32	20	-13.12	715	-12.52	1350
-10.02	40	-12.82	745	-11.62	1380
-10.32	70	-12.92	775	-10.72	1410
-10.62	100	-13.12	810	-10.52	1440
-10.42	135	-12.92	835	-12.02	1470
-9.52	170	-12.42	865	-12.12	1505
-9.72	200	-12.62	895	-11.12	1530
-9.62	235	-12.72	920	-10.02	1560
-9.62	270	-12.92	950	-7.52	1590
-10.62	305	-13.02	975	-8.62	1620
-11.02	335	-12.92	1005	-10.22	1650
-10.62	365	-12.62	1035	-11.52	1670
-10.82	400	-13.12	1065	-11.82	1710
-12.12	430	-13.72	1095	-12.02	1740
-12.42	460	-13.52	1120	-12.42	1765
-11.42	495	-13.22	1150	-11.72	1800
-12.92	525	-14.12	1175	-12.42	1830
-13.02	560	-16.52	1205	-13.32	1860
-13.62	590	-16.72	1235	0	1890
-12.52	620	-16.82	1265		

Tabla B.24 Datos de la sección transversal número 22 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 22		Sección 22		Sección 22	
Corrección 6.82		Corrección 6.82		Corrección 6.82	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-18.02	535	-5.02	1145
-8.22	20	-18.12	570	-5.12	1175
-8.72	35	-16.92	600	-4.72	1200
-10.82	70	-16.22	635	-4.12	1235
-11.62	90	-16.12	665	-3.82	1265
-11.42	115	-17.22	695	-0.62	1295
-12.02	145	-18.42	735	-4.12	1325
-12.02	175	-18.32	760	-5.12	1355
-13.12	210	-18.92	795	-6.82	1380
-14.22	235	-19.02	825	-8.82	1420
-14.22	265	-19.12	855	-9.92	1450
-14.42	295	-18.52	890	-11.02	1485
-16.72	330	-17.52	920	-11.72	1515
-16.42	360	-15.92	955	-13.02	1550
-17.72	385	-14.32	985	-13.02	1580
-17.32	415	-13.22	1020	-12.52	1610
-17.12	445	-11.52	1050	-13.12	1645
-18.32	475	-8.62	1085	0	1675
-18.02	505	-6.62	1115		

Tabla B.25 Datos de la sección transversal número 23 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 23		Sección 23		Sección 23	
Corrección 6.65		Corrección 6.65		Corrección 6.65	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-20.35	485	-5.45	1090
-3.65	10	-20.95	520	-5.25	1125
-4.85	15	-21.15	550	-5.05	1150
-6.95	35	-19.45	585	-4.85	1185
-11.35	55	-17.55	620	-4.95	1220
-12.95	80	-16.95	650	-5.05	1250
-13.75	105	-16.85	685	-6.05	1285
-14.45	130	-16.45	715	-6.95	1320
-14.25	165	-16.25	750	-8.05	1355
-16.35	195	-15.35	785	-9.45	1390
-16.25	230	-14.25	820	-10.35	1425
-16.75	260	-12.85	850	-11.65	1460
-16.65	290	-12.05	885	-13.05	1495
-17.85	325	-10.95	920	-13.05	1520
-19.25	355	-9.45	950	-12.85	1555
-18.65	385	-7.45	990	0	1585
-20.55	425	-6.35	1020		
-20.75	455	-6.05	1050		

Tabla B.26 Datos de la sección transversal número 24 del sector Yaya, perteneciente al canal de navegación del río Orinoco.

Sección 24		Sección 24		Sección 24	
Corrección 6.65		Corrección 6.65		Corrección 6.65	
Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)	Profundida d (m)	Dist. Acum. (m)
0	0	-21.25	490	-6.15	1075
-5.45	15	-21.95	530	-5.85	1105
-8.25	30	-20.25	550	-5.95	1135
-10.35	50	-18.75	580	-5.95	1160
-11.95	65	-17.95	610	-6.15	1190
-14.05	85	-17.15	645	-6.45	1225
-16.85	115	-16.65	680	-7.45	1260
-17.35	145	-15.75	710	-7.95	1290
-17.55	175	-14.65	750	-8.25	1325
-18.25	205	-13.95	775	-8.95	1355
-19.45	235	-11.15	810	-9.55	1385
-20.15	270	-8.65	850	-10.05	1420
-19.65	300	-7.85	880	-10.05	1450
-21.75	330	-7.55	910	-10.45	1475
-21.55	360	-7.25	945	-4.35	1495
-20.05	395	-6.65	975	0	1500
-19.95	425	-6.25	1000		
-20.85	460	-6.25	1035		

Tabla B.27 Coordenadas de las secciones transversales del sector Yaya utilizadas para georeferenciar el tramo en estudio utilizadas en el programa de Hec-Ras.

<b>Coordenadas Norte</b>	<b>Coordenadas Este</b>	<b>Sección</b>
963240	595680	24
963480	596115	23
963630	596585	22
963870	597095	21
963655	597820	20
963335	598105	19
963135	598560	18
962860	598980	17
962665	590440	16
962470	590905	15
962250	600315	14
961890	600715	13
961325	600965	12
961010	601370	11
960755	601800	10
960515	602245	9
960205	602690	8
959980	603085	7
959835	603580	6
959615	604040	5
959410	604490	4
959220	604970	3
959050	605440	2
958855	605900	1

Tabla B.28 Distancias entre las secciones en el margen izquierdo, centro y margen derecho del canal, sector Yaya.

Sección	Distancia del margen izquierdo (LOB)	Distancia del centro del canal (Channel)	Distancia del margen derecho (ROB)
24	500	500	500
23	540	480	410
22	710	580	475
21	1460	890	90
20	350	280	230
19	400	400	410
18	470	500	530
17	490	500	500
16	500	500	500
15	500	500	490
14	490	500	490
13	500	490	490
12	500	500	500
11	500	500	500
10	500	500	500
9	500	500	500
8	500	500	500
7	500	500	500
6	500	500	500
5	500	500	500
4	500	500	500
3	500	500	500
2	500	500	500
1	0	0	0

Tabla B.29 Datos para el análisis del movimiento incipiente para las partículas del lecho en el sector Yaya.

Sector Yaya		Unidades
Peso Específico del Agua ( $\gamma_{\text{agua}}$ )	1000	kg-f/m <sup>3</sup>
Densidad Del Agua ( $\rho_{\text{agua}}$ )	102.041	kg-f/m <sup>3</sup>
Profundidad Promedio (D)	14.28	m
Pendiente longitudinal del lecho (S)	0.0002	
Diámetro medio de las partículas (d)	0.35	mm
Diámetro 90 de las partículas ( $d_{90}$ )	0.45	mm
Viscosidad Cinemática del Agua (V)	8.06E-07	m <sup>2</sup> /s
Velocidad media del Flujo	0.78	m/s
Coefficiente de rugosidad de Manning	0.04	

Tabla B.30 Datos para el análisis de movimiento de las partículas del lecho de acuerdo al modelo de Shields.

Modelo De Shields		
Esfuerzo Cortante	$\tau = \gamma_{\text{agua}} * D * S$	2,856
Velocidad de Corte	$U = (\tau / \rho_{\text{agua}})^{1/2}$	0,167298385
Nº de Reynolds límite	$Re = U * (d / V)$	47.7
Esfuerzo Cortante adimensional	$\tau / (\gamma_{\text{agua}} d)$	0,816

Tabla B.31 Datos para el análisis de movimiento de las partículas del lecho de acuerdo al modelo de Van Rijn.

Modelo de Van Rijn		
Parámetro Crítico de Shields ( $\theta_{cr}$ )	$\theta_{cr} = \tau_{b,cr} [(\rho_s - \rho)] \text{gd } 50$	4 E-2
Tiempo Crítico Promedio ( $\tau_{b,cr}$ )	$\tau_{b,cr} = \rho * h * I$	2.9 E-1

**Apéndice C**  
**Secciones transversales**

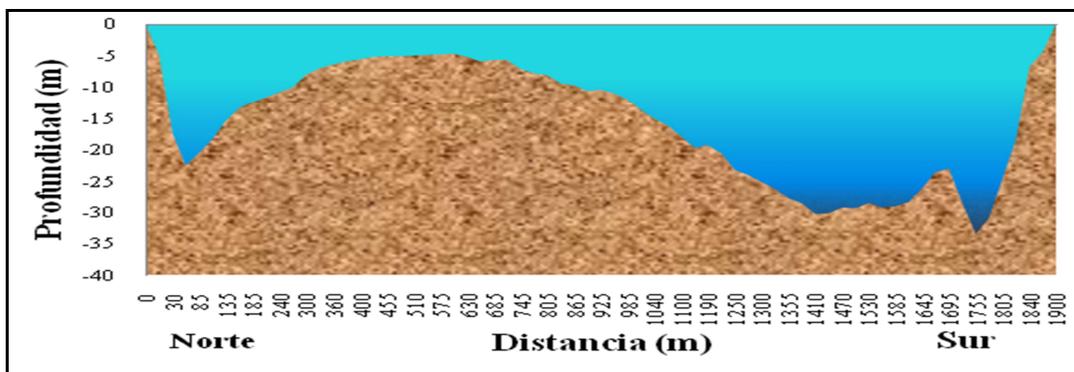


Figura C.1 Sección transversal N° 1 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432).

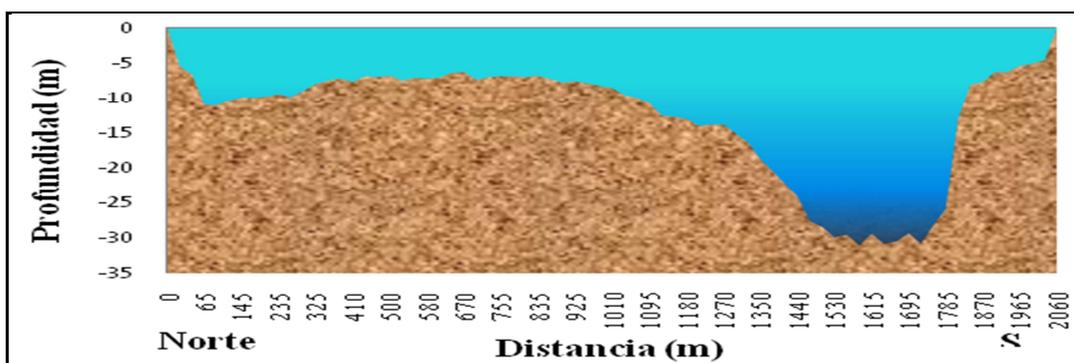


Figura C.2 Sección transversal N° 2 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432).

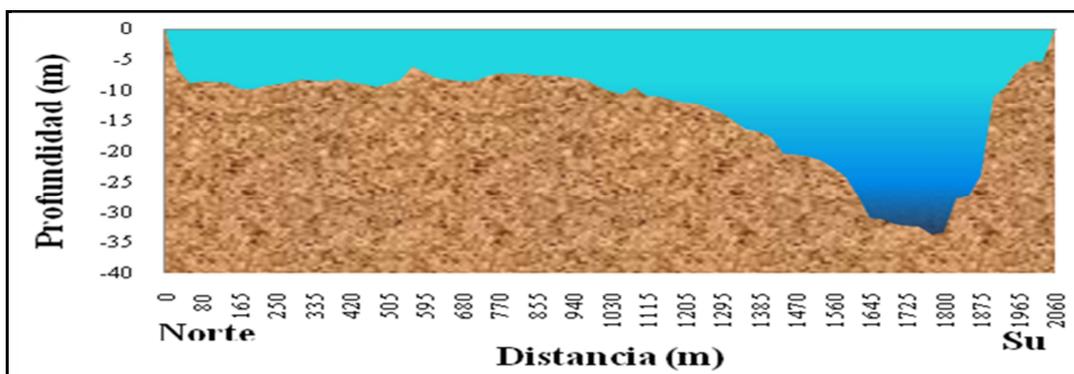


Figura C.3 Sección transversal N° 3 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432).

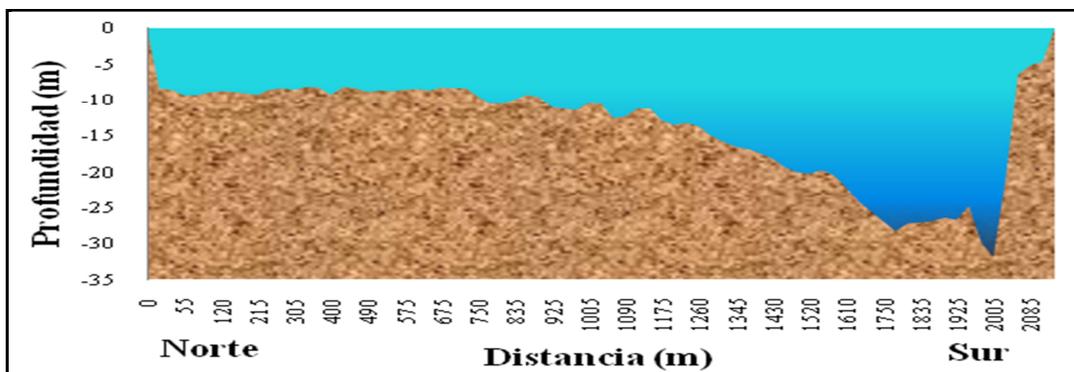


Figura C.4 Sección transversal N°4 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432).

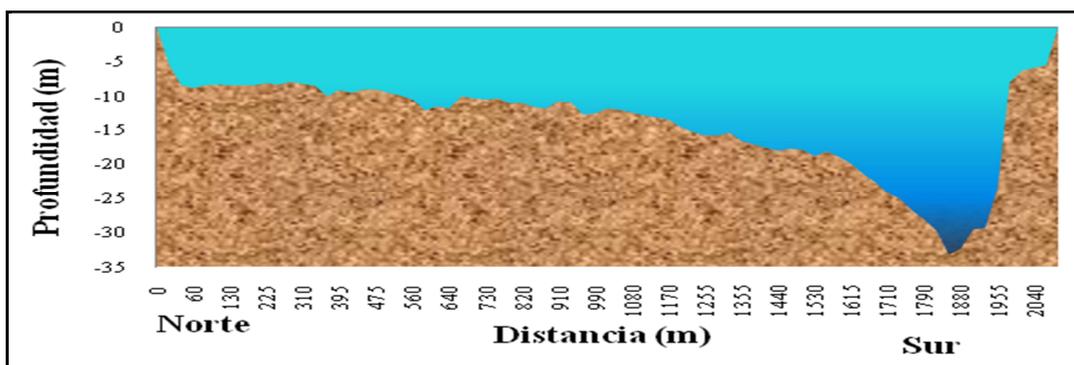


Figura C.5 Sección transversal N° 5 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432).

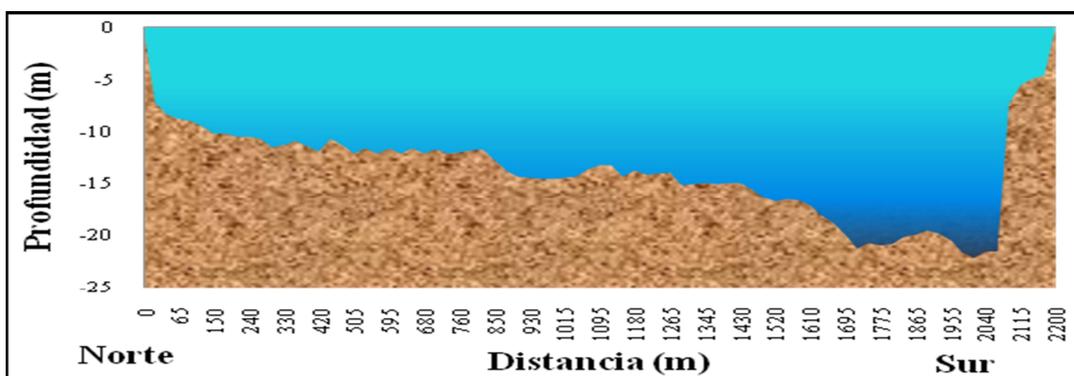


Figura C.6 Sección transversal N°6 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432).

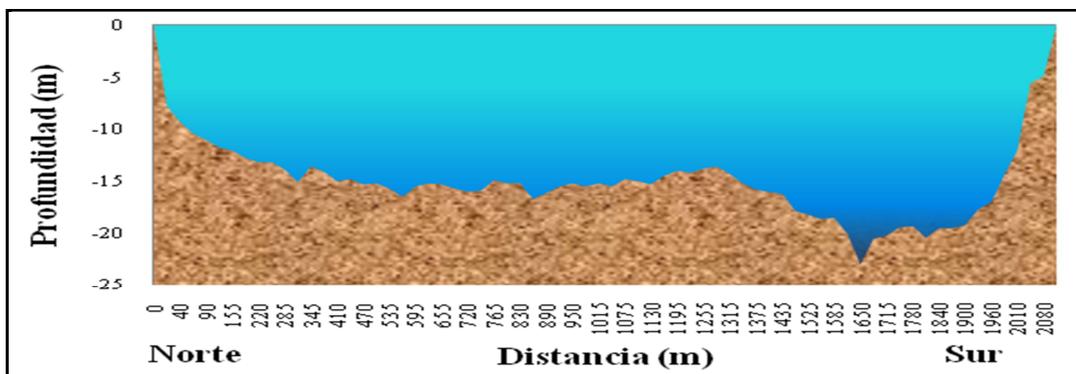


Figura C.7 Sección transversal N°7 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432).

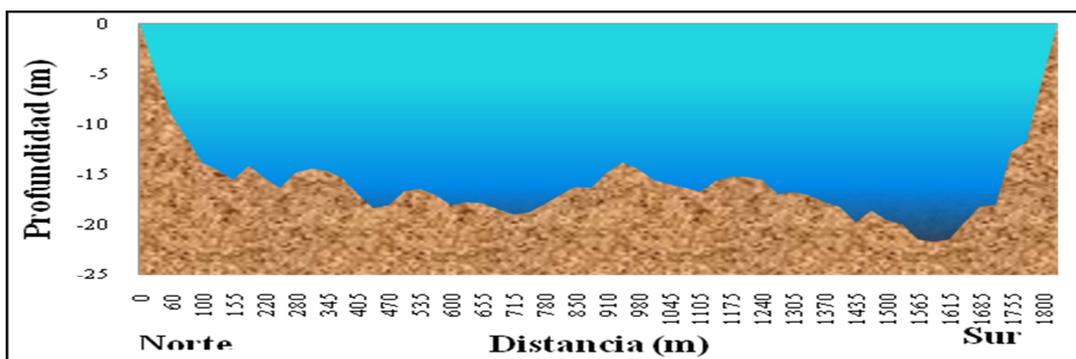


Figura C.8 Sección transversal N°8 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432).

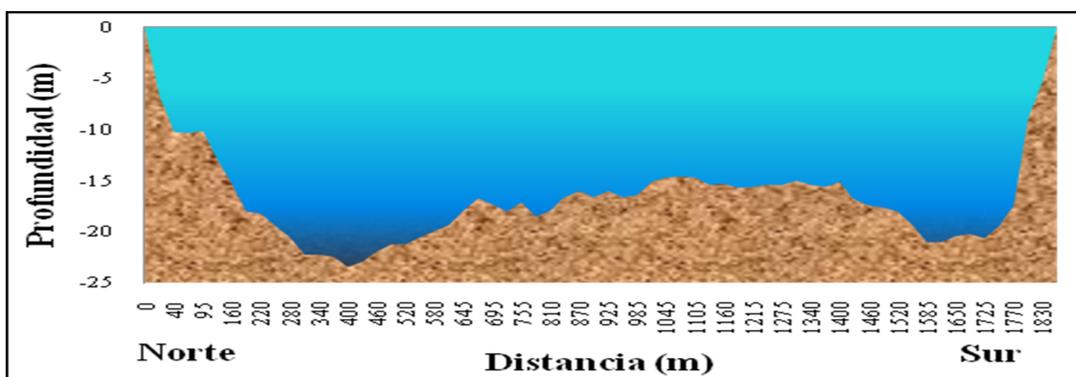


Figura C.9 Sección transversal N°9 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5432).

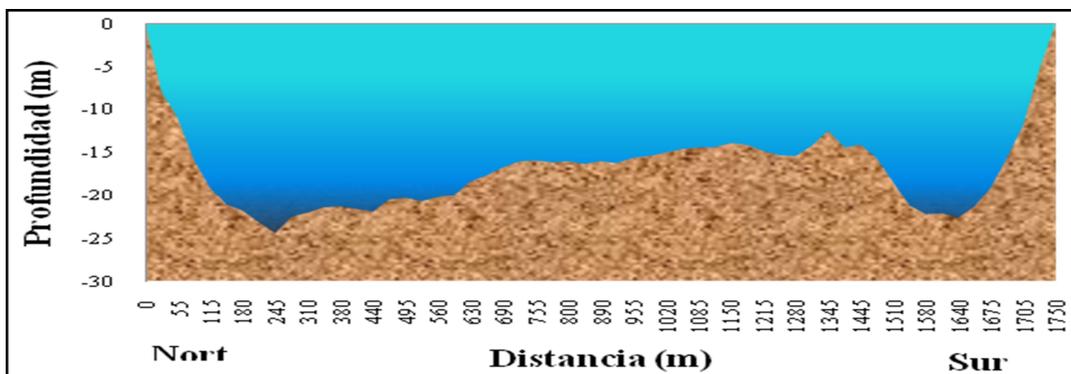


Figura C.10 Sección transversal N°10 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB543).

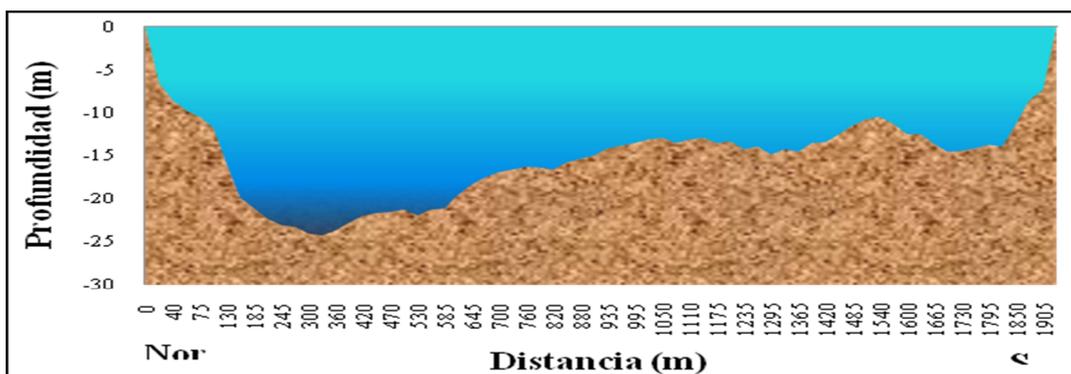


Figura C.11 Sección transversal N°11 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

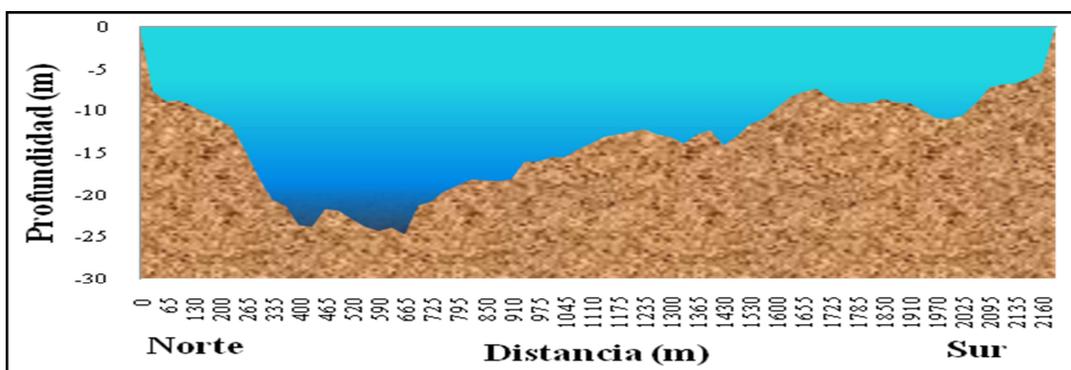


Figura C.12 Sección transversal N°12 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

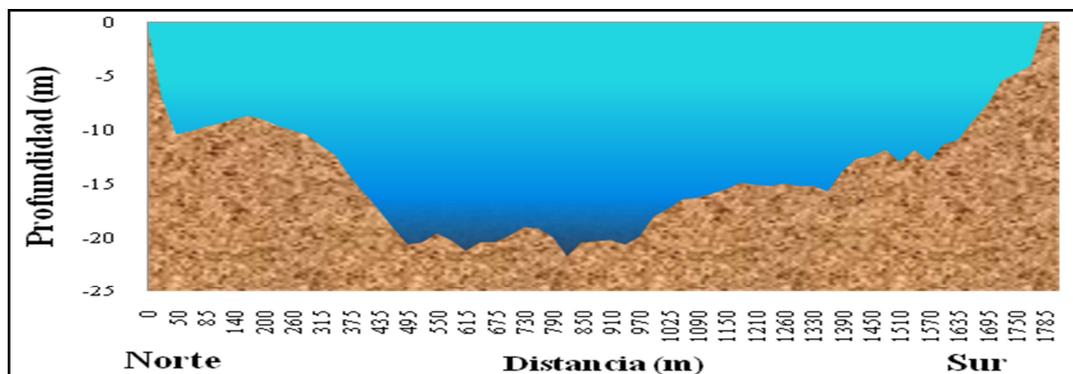


Figura C.13 Sección transversal N°13 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

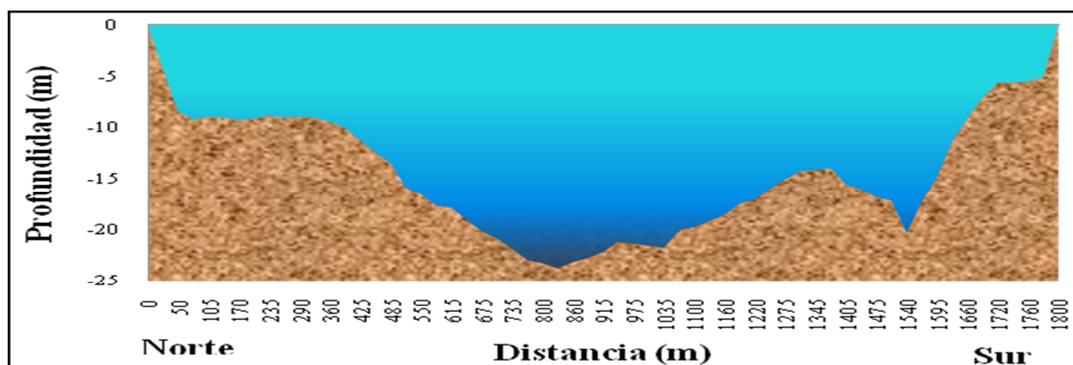


Figura C.14 Sección transversal N°14 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

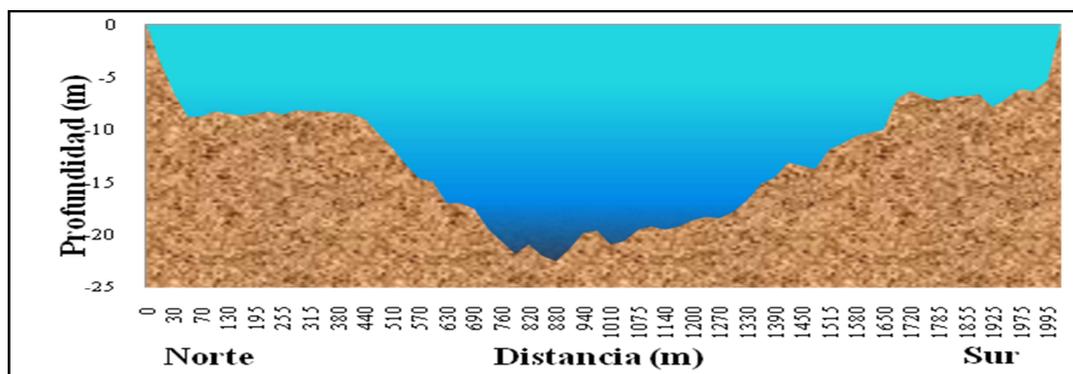


Figura C.15 Sección transversal N°15 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

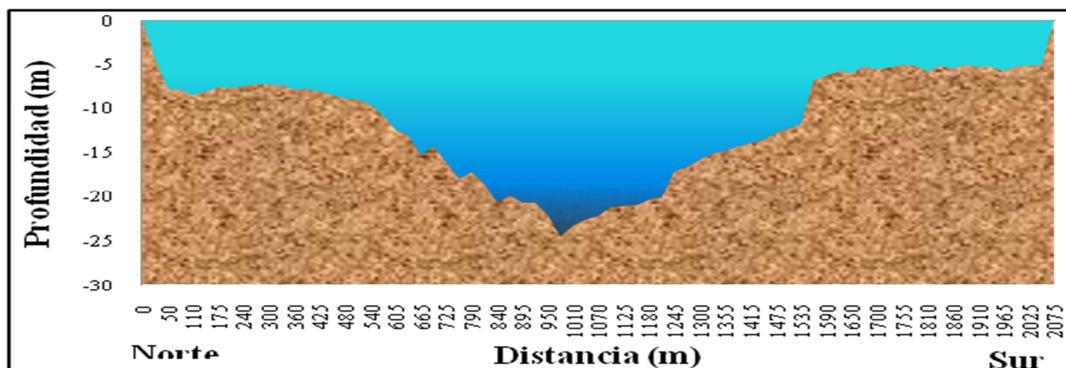


Figura C.16 Sección transversal N°16 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

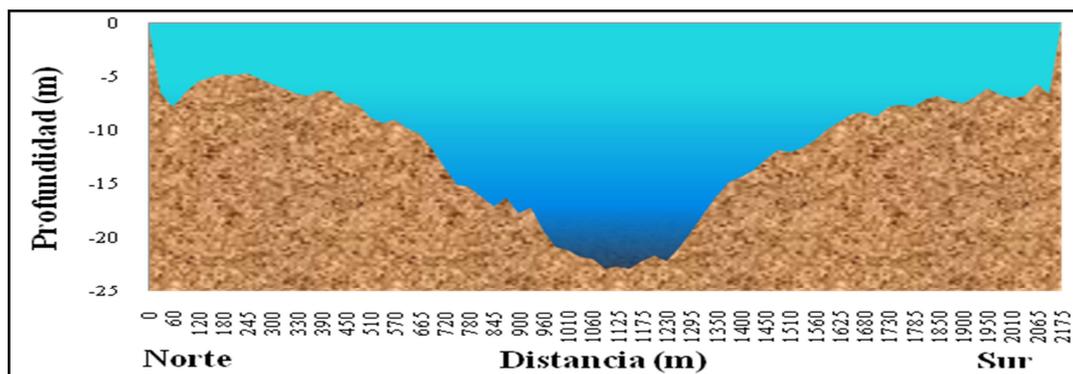


Figura C.17 Sección transversal N°17 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

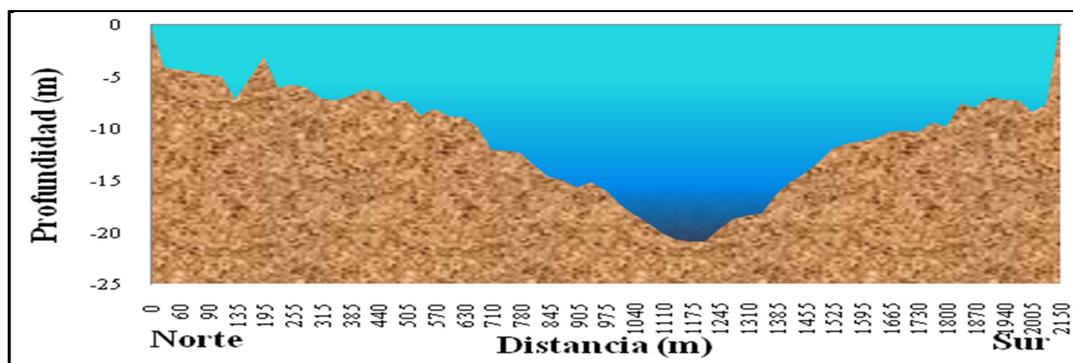


Figura C.18 Sección transversal N°18 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

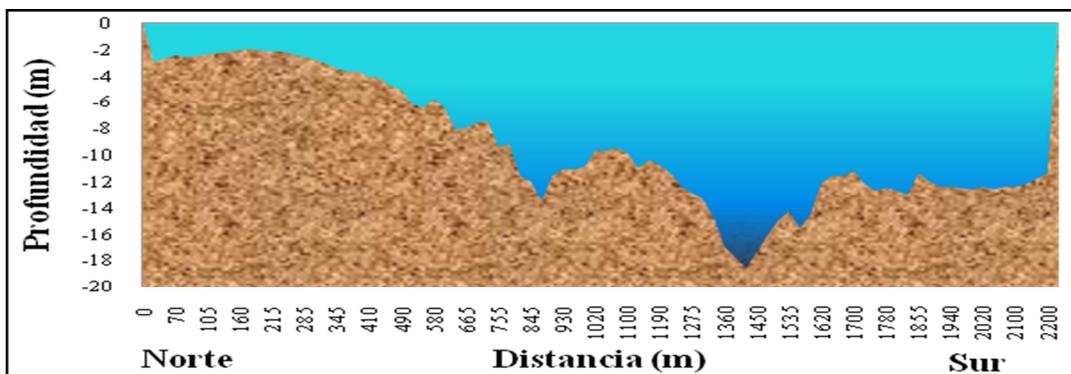


Figura C.19 Sección transversal N°19 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

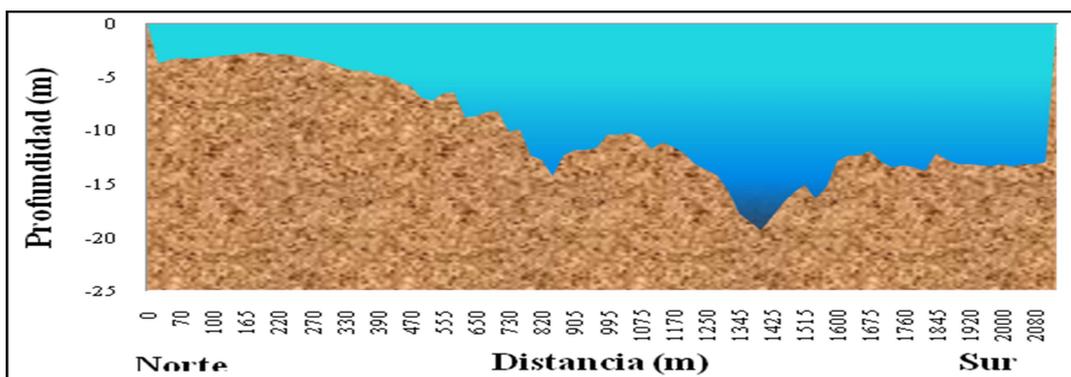


Figura C.20 Sección transversal N°20 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

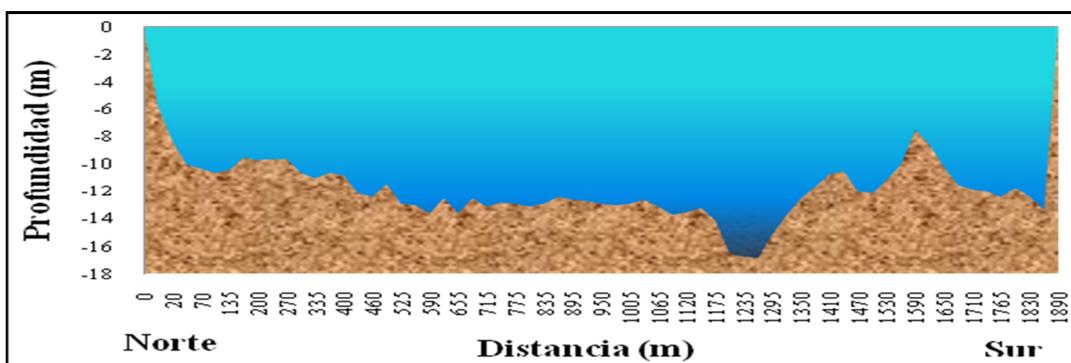


Figura C.21 Sección transversal N°21 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

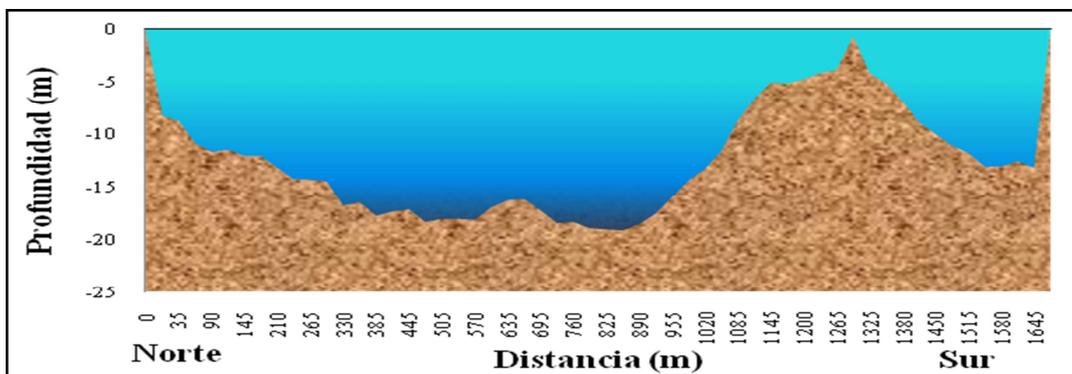


Figura C.22 Sección transversal N°22 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

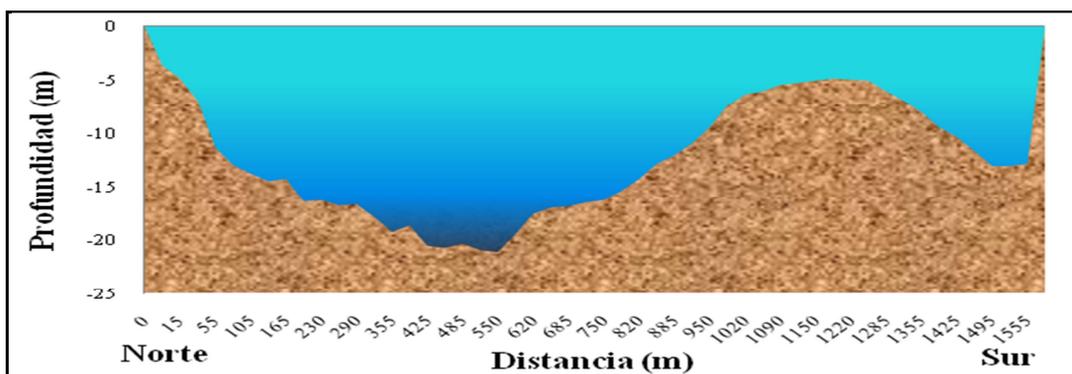


Figura C.23 Sección transversal N°23 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

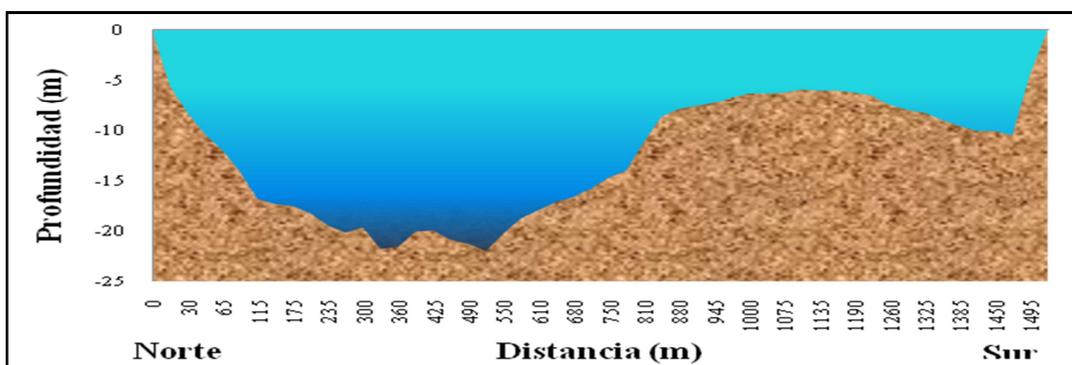


Figura C.24 Sección transversal N°24 ubicada en el sector Yaya. (Plano batimétrico N° OODB5433).

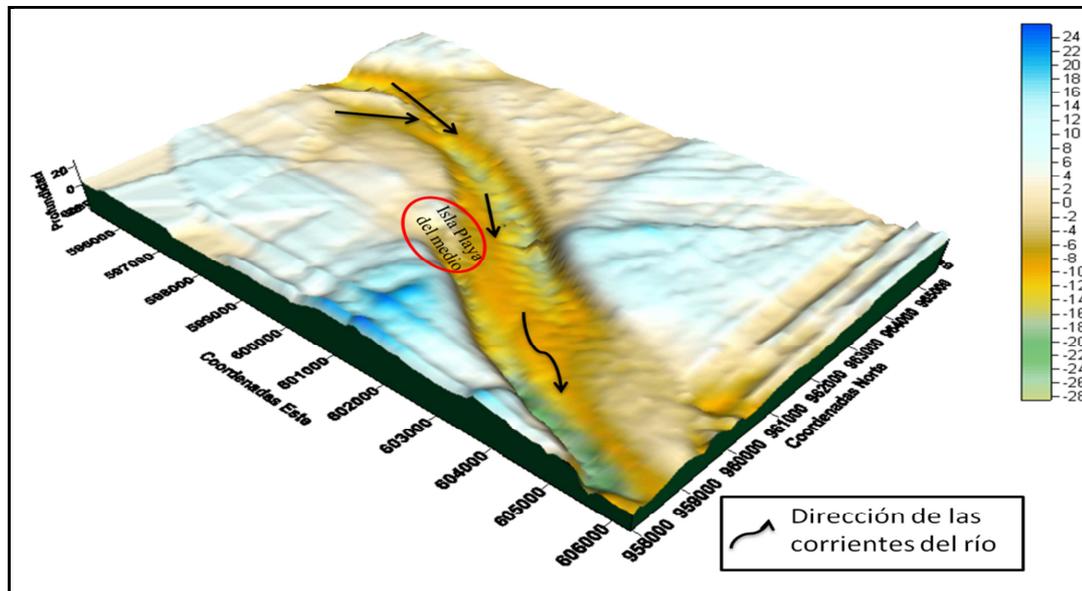


Figura C. 25 Modelo 3D del lecho para el sector Sacupana, identificando la dirección de las corrientes del río.

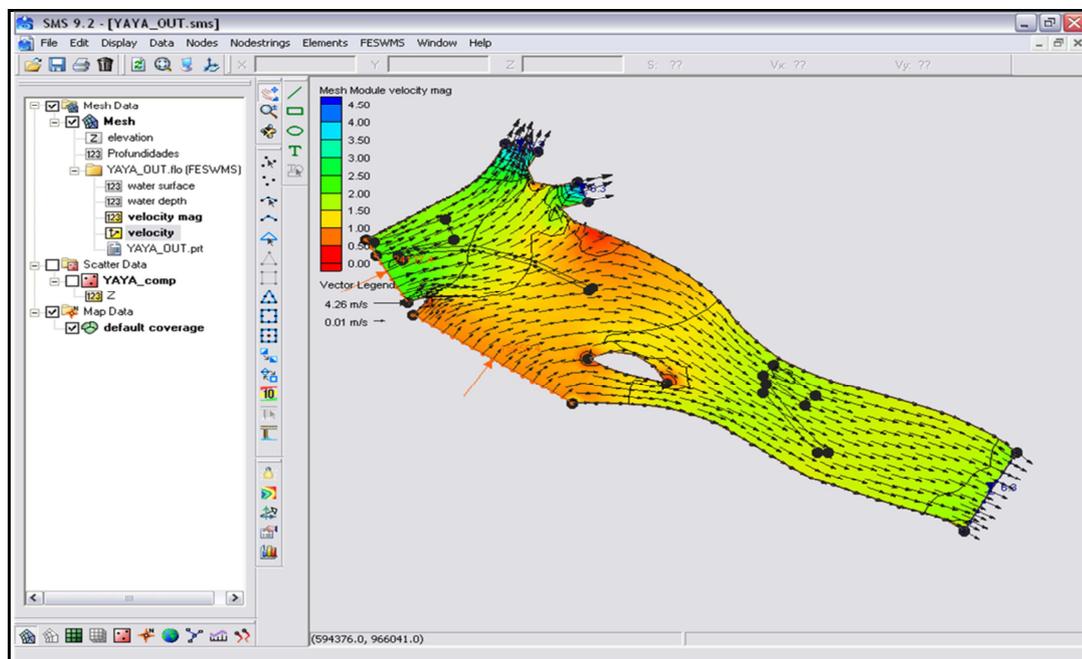


Figura C.26 Mapa de contorno de velocidades de corriente generado por el programa SMS.

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

<b>Título</b>	ANÁLISIS DEL FLUJO DE SEDIMENTOS Y DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVAS EN EL SECTOR YAYA DEL RÍO ORINOCO. ESTADO MONAGAS. VENEZUELA
<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
García A. Jessica C.	<b>CVLAC</b>	<b>17.163.467</b>
	<b>e-mail</b>	<b>Corelis01@hotmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Palabras o frases claves:

FLUJO DE SEDIMENTOS
ÁREAS DE DESCARGA
RÍO ORINOCO
DRAGAS

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

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Departamento de Ing. Geológica	Ingeniería Geológica

### Resumen (abstract):

Este trabajo tiene por objetivo principal la evaluación del flujo de sedimentos en el sector Yaya del río Orinoco, en el estado Bolívar, y así conocer su comportamiento hidrodinámico a fin de tener la base necesaria para ubicar áreas de descarga en dicho sector. El desarrollo se llevó a cabo realizando revisión bibliográfica, de informes técnicos, trabajos de investigación previos y planos del área de estudio, para obtener información tal como planos costa a costa, tasas de sedimentación, niveles del río; también se utilizaron diagramas para análisis de movimiento del flujo (Hjulstrom, Shields y Van Rijn). Así mismo, se emplearon los programas que permiten realizar cálculos hidráulicos unidimensionales y modelado de la superficie del agua como lo son Hec-ras y SMS respectivamente. De lo anterior, resultó que las profundidades a lo largo del sector Yaya varían entre 16 y 34 m., el nivel del río en estiaje es de 0.36m. y en época de aguas altas es de 8.13 m., el gasto máximo se encuentra entre 2660.73 m<sup>3</sup>/s y 24137.40 m<sup>3</sup>/s, la pendiente hidráulica del tramo en estudio es de 0.00045719 y su pendiente del lecho es de 0.002, el Radio Hidráulico es de 14.2771 m., el coeficiente de rugosidad de Manning arrojado por Hec-ras es de 0.04; el suelo presente está constituido por una arena fina limosa mal gradada cuya cohesión es nula, este material ha sufrido poco transporte, demostrado por el análisis de forma, ya que presenta la mayoría de sus partículas son subangulosas. Los sedimentos encontrados, según el diagrama de Shields, están en movimiento con una velocidad de características turbulentas. Por la velocidad media del flujo en el sector Yaya del río Orinoco, que es de 0,78 m/s, las partículas se encuentran en erosión. De acuerdo al diagrama de Van Rijn, los sedimentos están en movimiento e iniciando la suspensión, según la curva de Shields. Se ubicaron dos áreas de descarga, la primera aguas arriba con una profundidad promedio de 10,24 m, un área de 735.350 m<sup>2</sup> para una capacidad de 477.977,5 m<sup>3</sup> en aguas bajas y 6.191.647 m<sup>3</sup> en aguas altas con velocidades registradas entre 1.57 y 2.01 m/s; la segunda zona de bote cuenta con profundidades entre 10.5 y 13.2 m., su área es de 269.993,18 m<sup>2</sup>, su capacidad es de 1.196.069,79 m<sup>3</sup> en estiaje y 3.293.916,8 m<sup>3</sup> en aguas altas, y sus velocidades oscilan entre 1,45 y 1,49 m/s.

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

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Echeverria Dafnis	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	4.506.408
	<b>e-mail</b>	djed4506@hotmail.com
	<b>e-mail</b>	
Rivadulla Rosario	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	3.825.175
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
Monsalve S., Vicente A.	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	2.766.562
	<b>e-mail</b>	vicentemonsalve@hotmail.com
	<b>e-mail</b>	
	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Fecha de discusión y aprobación:

**Año      Mes      Día**

<b>2011</b>	<b>04</b>	<b>27</b>
-------------	-----------	-----------

**Lenguaje:**   spa

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

### Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-Movimiento Incipiente sedimentos.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:** Canal de Navegación del río Orinoco, sector Aramaya (Opcional)

**Temporal:** 10 años (Opcional)

**Título o Grado asociado con el trabajo:** Ingeniero Geólogo

**Nivel Asociado con el Trabajo:** Pre-Grado

**Área de Estudio:** Departamento de Ing. Geológica

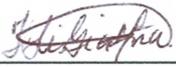
**Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:** Universidad de Oriente

# 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  
fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,  
quien lo participara al Consejo Universitario”**

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



---

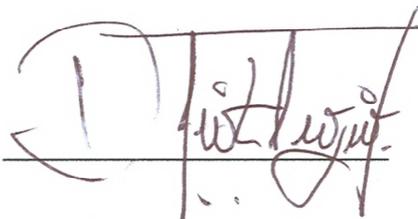
**AUTOR 1**

---

**AUTOR 2**

---

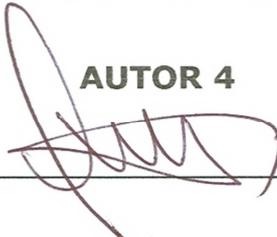
**AUTOR 3**



---

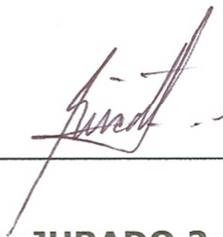
**TUTOR**

---



---

**JURADO 1**



---

**JURADO 2**

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS:**

---