

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



**ESTUDIO DEL FLUJO DE LOS SEDIMENTOS Y DE LAS
ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVAS EN LOS
SECTORES ARAGUAITO Y SACUPANA DEL RÍO ORINOCO,
ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO
PRESENTADO POR LOS
BACHILLERES:
CHUECOS AULAR, JESSICA
MARIA Y RODULFO LICETT,
BRAY ANTONIO. PARA
OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, MARZO 2011

HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, intitulado “ESTUDIO DEL FLUJO DE SEDIMENTOS Y DE LAS AREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVAS EN LOS SECTORES ARAGUAITO Y SACUPANA, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA”, presentado por los bachilleres CHUECOS AULAR, JESSICA MARIA Y RODULFO LICETT, BRAY ANTONIO, 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, Todopoderoso, el creador de la vida, el que me ha dado la oportunidad de estar aquí, el que siempre está conmigo en las buenas y en las malas.

A mi hermosa madre quien ha luchado incansablemente para darme la mejor educación y formarme como persona, a tí más que a nadie te dedico este logro.

A mis dos hermanas que han sido mi ejemplo y mi guía, me han acompañado en todos los momentos en los que he necesitado su apoyo y amor.

A mis bellas sobrinas que han sido mi luz, mis pequeños ángeles.

A todas esas personas que me han ayudado y han contribuido a este logro.
Gracias.

Jessica M. Chuecos A.

DEDICATORIA

Mi trabajo de Grado se lo dedico con orgullo a mis padres Irma Licett y Bray Rodulfo, por brindarme su apoyo y confianza en todo momento y hacer realidad tan importante logro en mi vida.

A mis hermanos Reyfher Rodulfo y Katherine Rodulfo por su valioso apoyo en todo momento.

A mi novia Daniela Machiz, por brindarme su apoyo para seguir siempre adelante.

A toda mi familia, que desearon mi éxito, desde el comienzo de mi carrera.

Bray A. Rodulfo. L

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 maternal 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 los ingenieros 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.

Jessica M. Chuecos A.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme vida y salud para culminar la carrera, superando cualquier obstáculo presente, y lograr así una de las metas más grandes de mi vida.

Gracias a mis padres Irma Licett y Bray Rodulfo, por toda su confianza, apoyo, dedicación y por estar a mi lado apoyándome incondicionalmente.

Gracias a mis hermanos Katherine y Reyfher y a mi novia Daniela Machiz, por su solidaridad, sus sinceras palabras de aliento y por sentir como suyo este triunfo.

Gracias a mi asesor académico profesor. Dafnis Echeverria, por su confianza, orientación y valioso apoyo brindado.

A todo el personal que labora en el Instituto Nacional de Canalizaciones y en especial a los Ingenieros María Cueto y Eulenis González por haberme prestado su colaboración y toda la ayuda ofrecida.

Agradezco a la Universidad de Oriente por abrirme sus puertas y brindarme la preparación académica y crecimiento personal.

Bray A Rodulfo L

RESUMEN

La siguiente investigación ha sido auspiciada por el INSTITUTO NACIONAL DE CANALIZACIONES (I.N.C) el cual es el Ente encargado del mantenimiento del canal de navegación del río Orinoco. Surge bajo la necesidad de analizar el movimiento de los sedimentos y las áreas de descarga para dragas de tolvas en los sectores Araguaito y Sacupana del río Orinoco en el estado Delta Amacuro. Con el fin de mejorar el tránsito fluvial del canal de navegación en ambos sectores entre las millas 107.0 y 133.0. La estrategia que se adopto para dar respuesta al problema planteado fue documental. Para la realización de la presente investigación se determinaron las características morfológicas del lecho para los sectores, mediante la digitalización de los planos batimétricos y la elaboración de secciones transversales, también se realizaron modelos digitales tridimensionales del lecho con el fin de observar su morfología. Luego se estableció el comportamiento hidrodinámico correlacionando los niveles del río, velocidades y gastos líquidos obtenidos de las campañas de aforo efectuadas por el INC durante el período 1997- 2004, Además se construyeron hidrogramas de acuerdo a los niveles promedios, máximos y mínimos registrados desde 1943-2009 con el fin de saber las variaciones anuales en los niveles del agua, también se pudo conocer la pendiente hidráulica y la pendiente del lecho de acuerdo a las profundidades existente al inicio y final de ambos sectores. Para el análisis del Movimiento Incipiente de los sedimentos del lecho se aplicaron modelos matemáticos en cada sector, modelo de Shields, modelo de Hjulstrom, y modelo de Van Rijn, y finalmente para la evaluación de las áreas de descarga para material dragado en ambos sectores se utilizó el programa SMS, mediante el modelo FESWMS, se pudo modelar la superficie del agua en ambos sectores, se utilizaron los parámetros hidráulicos tales como caudal, nivel del agua y coeficiente de rugosidad de Manning, esta simulación permitió obtener las velocidades de corriente que presentan las áreas de descarga de dichos sectores. Se delimitaron 2 zonas disponibles en ambos sectores, el área N°1 y N°2 del sector Araguaito tienen una capacidad para la descarga referida al nivel de estiaje 3498294 m^3 y 3285215.5 m^3 respectivamente, con velocidades de corriente que oscilan entre 0.85 y 1.17 m/s, dichas velocidades permiten el proceso de erosión en la zona. El área N°1 y N°2 del sector Sacupana, las velocidades estimadas por el software SMS oscilan con valores 1.67 y 2.09 m/s, permitiendo el transporte de sedimento y la capacidad volumétrica referida al nivel de estiaje de 2423547.8 m^3 y 2901351 m^3 respectivamente, de acuerdo a lo anterior estas zonas son optimas para ser utilizadas con áreas de descarga para material dragado.

CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN	I
DEDICATORIA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN.....	VI
CONTENIDO	VII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XII
LISTA DE APÉNDICES	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	6
CAPÍTULO II	7
GENERALIDADES	7
2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
2.1.1. Sector Sacupana.....	8
2.1.2. Sector Araguaito.....	8
2.2 ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO.....	8
2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y NATURALES.....	8
2.3.1 El río Orinoco	8
2.3.2 Delta del Orinoco.....	9
2.3.3 Canal del río Orinoco	10
2.3.4 Viento.....	11
2.3.5. Vegetación.....	11
2.4 GEOLOGÍA REGIONAL Y/O LOCAL	13
2.4.1. Geología regional	13
2.4.2 Geología local.....	15
CAPÍTULO III	16
MARCO TEÓRICO.....	16
3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16
3.2 BASES TEÓRICAS.....	17
3.2.1 Morfología fluvial	17

3.2.2 Pendiente hidráulica.....	18
3.2.3 Trazado de un río.....	19
3.2.4 Trabajo geológico de los ríos.....	20
3.2.5 Estructuras fluviales.....	20
3.2.6 Transporte de sedimentos.....	21
3.2.7 Carga suspendida.....	22
3.2.8 Carga de Lecho.....	23
3.2.9 Sedimentos cohesivos y no cohesivos.....	23
3.2.10 Ecuación de Manning.....	24
3.2.11 Secciones transversales en canales naturales.....	25
3.2.12 Formas del lecho.....	25
3.2.13 Factores que afectan las formas del lecho.....	26
3.2.14 Movimiento incipiente de las partículas en corriente.....	28
3.2.15 Dragado.....	34
3.2.16 Dragas.....	34
3.2.17 Dragas hidráulicas.....	35
3.2.18 Programa HEC-RAS.....	36
3.2.19 Programa SMS (Surface water Modeling System).....	36
CAPÍTULO IV.....	37
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	37
4.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	37
4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
4.3 POBLACIÓN Y MUESTREO.....	38
4.3.1 Población:.....	38
4.3.2 Muestra.....	38
4.4 TÉCNICA E INSTRUMENTOS IMPLEMENTADOS.....	38
4.4.1 Técnicas.....	38
4.4.2 Instrumentos.....	39
4.5. FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGÍA.....	39
4.6 DESCRIPCIÓN DEL FLUJOGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
4.6.1 Etapa I recopilación de información.....	40
4.6.2 Etapa II Descripción de la morfología del lecho.....	42
4.6.3 Etapa III Describir los parámetros hidráulicos.....	42
4.6.4 Etapa IV Evaluar la capacidad y ubicación de las áreas de descarga para los sectores Araguaito y Sacupana.....	48
CAPÍTULO V.....	53
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	53
5.1 DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	53
5.2 CARACTERIZACIÓN HIDRODINÁMICA DE LOS SECTORES ARAGUAITO Y SACUPANA.....	57
5.2.1 Hidrogramas de los sectores Araguaito y Sacupana.....	57
5.2.2 Correlación de Niveles del río, velocidades y caudal.....	59

5.2.3 Pendiente hidráulica y pendiente del lecho de los sectores Araguaito y Sacupana.....	60
5.2.4 Determinación del radio hidráulico.....	61
5.2.5 Coeficiente de rugosidad de Manning.....	61
5.3 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES DEL LECHO DEL RÍO DE LOS SECTORES EN ESTUDIO	62
5.3.1 Clasificación granulométrica de los materiales del lecho.....	62
5.3.2 Ángulo de fricción interna de los materiales del lecho.....	63
5.3.3 Forma de las partículas del lecho.....	63
5.3.4 Mineralogía de las partículas.....	64
5.4 ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE LOS SEDIMENTOS QUE SE PRODUCEN EN LOS SECTORES ARAGUAITO Y SACUPANA.....	64
5.4.1 Modelo de Shields.....	64
5.4.2 Modelo de Hjulstrom.....	65
5.4.3 Modelo Van Rijn	67
5.5 EVALUAR LA CAPACIDAD Y UBICACIÓN DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA MATERIAL DRAGADO EN LOS SECTORES ARAGUAITO Y SACUPANA	68
5.5.1 Evaluar la capacidad y ubicación de las áreas de descarga para material dragado en el sector Araguaito.....	68
5.5.2. Evaluar la capacidad y ubicación de las áreas de descarga para material dragado en el sector Sacupana.....	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS.....	83
APÉNDICE.....	87

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
2.1 Ubicación relativa de los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco (Departamento de Hidrografía del I.N.C.).....	7
2.2 Tramos El Jobal – Matanzas y Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).	11
3.1 Perfil longitudinal de un río.	18
3.2 Trazados de un río. (Church, M. 1992).....	19
3.3 Formas del lecho en ríos arenosos (Chang, 1988).....	26
3.4 Diagrama de Shields para movimiento incipiente (Vanoni, 1975 en Yang, C. 1996).	30
3.6. Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho (Van Rijn, L.1989).....	34
4.1 Flujograma de la investigación.	40
4.3 Ventana Principal del Software HEC-RAS, iniciando el programa.....	44
4.4 Esquema del río georeferenciado para el sector Araguaito indicando la dirección del flujo.	45
4.5 Asignación de los valores de la sección transversal numero 48 para el sector Araguaito.	45
4.6 Esquema en planta del sector Araguaito con las 48 secciones transversales separadas por los LOB, CHANNEL y ROB.....	46
4.7 Ventana para ingresar datos del caudal del río y nivel del agua para el análisis.....	47
4.8 Ingresando el nivel del agua para el caudal en la sección de aforo Tres caños Norte, del sector Araguaito.	47
4.9 Análisis del flujo para un régimen subcrítico, utilizando la data geométrica del sector Araguaito.	48
4.10 Perspectiva del ploteo en x-y-z para las 48 secciones transversales del sector Araguaito.	48
4.11 La pantalla principal del software Surface–Water Modeling System.	49
4.12 Arcos de rasgos delimitando las costas del sector Sacupana así como las entradas y salidas de caudal.	50
4.13 Despliegue del mallado Adaptive tessellation para el sector Sacupana.....	51
4.14 Despliegue de la solución hidrodinámica para el sector Sacupana.	52
5.1 Modelo 3D del lecho sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	56
5.2 modelo 3D del lecho sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	57
5.3 Hidrograma comparativo de los niveles Promedios Máximo y Mínimo mensuales del sector Sacupana en la milla 109.5 (1943-2009).....	58

5.4 Hidrograma comparativo de los niveles Promedios Máximo y Mínimo mensuales del sector Araguaito milla 126.5 (1943-2009).....	58
5.5 Correlación de los caudales, niveles y velocidades registradas en la sección de aforo Jeborina sur ubicada en la milla 110.2, sector Sacupana.....	59
5.7 Representación del análisis de forma correspondiente a las muestras tomadas en los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	63
5.9 Criterio erosión – depositación para partículas uniformes en los sectores Araguaito y Sacupana (Hjulstrom, 1935 en Yang, 1996).	66
5.10 Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho de los sectores Araguaito y Sacupana (Van Rijn, 1989).	67
5.11 Variación del volumen del área de descarga en función de los niveles del río.	69
5.12 Mapa de contornos de velocidad de corriente generado por el software SMS, del sector Araguaito, indicando el área de descarga N° 1.	70
5.13 Variación del volumen del área de descarga en función de los niveles del río.	71
5.14 Mapa de contornos de velocidades de corriente para el sector Araguaito, indicando el área de descarga N° 2.	73
5.15 Variación del volumen del área de descarga en función de los niveles del río.	74
5.16 Mapa de contornos de velocidad de corriente para el sector Sacupana, indicando el área de descarga N° 1.	75
5.17 Relación del volumen respecto a los niveles del río en el área de descarga N°2 para material dragado del sector Sacupana.	77
5.18 Mapa de contornos de velocidades de corriente para el sector Sacupana, indicando el área de descarga N° 2.	78

LISTA DE TABLAS

	Página
5.1 Volumen del área de descarga para material dragado para el nivel del río en estiaje y aguas altas.	68
5.2 Coordenadas Norte y Este del área de descarga para material dragado 1 en el sector Araguaito.	69
5.3 Volumen del área de descarga para material dragado para los niveles del río en estiaje y aguas altas.	71
5.4 Coordenadas Norte y Este del área de descarga N° 2 para material dragado en el sector Araguaito.	72
5.5 Volumen del área de descarga para material dragado para el nivel del río en estiaje y aguas altas.	74
5.6 Coordenadas Norte y Este del área de descarga para material dragado 2 del sector Sacupana.	75
5.7 Volumen del área de descarga para material dragado para el nivel del río en estiaje y aguas altas.	76
5.8 Coordenadas Norte y Este del área de descarga para material dragado N°2 del Sector Sacupana.	77

LISTA DE APÉNDICES

	Página
A.1 Curva granulométrica de las muestras tomadas del lecho milla 131.5, del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	89
A.2 Curva granulométrica de la muestra tomada en la milla 111 del sector, Sacupana tomado del canal de navegación del río Orinoco.	90
A.3 Curva granulométrica de la muestra tomada en la milla 132 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	91
A.4 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (100 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 110.0, sector Sacupana del canal de navegación río Orinoco.	92
A.5 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (200 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 110.0, sector Sacupana del canal de navegación río Orinoco.	93
A.6 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (400 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 110.0, sector Sacupana del canal de navegación río Orinoco.	94
A.7 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (100 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 131.5, sector Araguaito del canal de navegación río Orinoco.	95
A.8 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (200 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 131.5, sector Araguaito del canal de navegación río Orinoco.	96
A.9 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (400 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 131.5, sector Araguaito del canal de navegación río Orinoco.	97
A.10 Gráfico de cálculo de cohesión y ángulo de fricción interna del ensayo corte directo no consolidado drenado, realizado a la muestra tomada en la milla 110.0, sector Sacupana del canal de navegación río Orinoco.	98
A.11 Gráfico de cálculo de cohesión y ángulo de fricción interna del ensayo corte directo no consolidado drenado, realizado a la muestra tomada en la milla 131.5, sector Araguaito del canal de navegación río Orinoco.	98
A.12 Representación del análisis de forma correspondiente a las muestras tomadas en los sectores Araguaito, Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	99
A.13 Análisis petrográfico de las muestras extraídas del sector Araguaito en las millas 131.5-132.0 del canal de navegación del río Orinoco.	100
A.14 Análisis petrográfico de las muestras extraídas del sector Sacupana en las millas 110.0 - 111.0 del canal de navegación del río Orinoco.	101

B.1 Niveles promedios máximos y mínimos del sector Araguaito en la milla 126.5, durante el periodo 1943-2009 del canal de navegación del río Orinoco.	103
B.2 Niveles promedios máximos y mínimos del sector Sacupana en la milla 109.5, durante el periodo 1943-2009 del canal de navegación del río Orinoco.	103
B.3 Datos de niveles, velocidad, gastos líquidos y gasto sólidos de la secciones de aforo Jeborina Sur en la milla 110.2, sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	104
B.4 Datos de niveles, velocidad, gastos líquidos y gasto sólidos de la secciones de aforo Tres caño Norte ubicada en la milla 131.1, sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	104
B.5 Datos de la pendiente Hidráulica del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	105
B.6 Datos de la pendiente Hidráulica del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	105
B.7 Datos de la pendiente del lecho de los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	105
B.8 Datos de las secciones transversales 48, 47 y 46 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	106
B.9 Datos de las secciones transversales 45, 44 y 43 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	107
B.10 Datos de las secciones transversales 42, 41 y 40 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	108
B.11 Datos de las secciones transversales 39, 38 y 37 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	109
B.12 Datos de las secciones transversales 36, 35 y 34 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	110
B.13 Datos de las secciones transversales 33, 32 y 31 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	111
B.14 Datos de las secciones transversales 30, 29 y 28 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	112
B.15 Datos de las secciones transversales 27, 26 y 25 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	113
B.16 Datos de las secciones transversales 24, 23 y 22 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	114
B.17 Datos de las secciones transversales 21, 20 y 19 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	115
B.18 Datos de las secciones transversales 18, 17 y 16 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	116
B.19 Datos de las secciones transversales 15, 14 y 13 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	117

B.20	Datos de las secciones transversales 12, 11 y 10 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	118
B.21	Datos de las secciones transversales 9, 8 y 7 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	119
B.22	Datos de las secciones transversales 6, 5 y 4 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	120
B.23	Datos de las secciones transversales 3, 2 y 1 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	121
B.24	Datos de las secciones transversales 22, 21 y 20 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	122
B.25	Datos de las secciones transversales 19, 18 y 17 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	123
B.26	Datos de las secciones transversales 16, 15 y 14 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	124
B.27	Datos de las secciones transversales 13, 12 y 11 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	125
B.28	Datos de las secciones transversales 10, 9 y 8 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	126
B.29	Datos de las secciones transversales 7, 6 y 5 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco. (Planos batimétricos 2001).	127
B.30	Datos de las secciones transversales 4, 3 y 2 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	128
B.31	Datos de la sección transversal N° 1 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	129
B.32	Datos de las coordenadas UTM de las secciones transversales de los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	130
B.33	Datos a utilizar para calcular el radio hidráulico de los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	131
B.34	Datos a utilizar para calcular el movimiento incipiente de la partícula en el sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	131
B.35	Datos a utilizar para la gráfica de Shields del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.	131
B.36	Datos a utilizar para calcular el movimiento incipiente de la partícula en el sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	132
B.37	Datos a utilizar para la gráfica de Shields del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	132
B.38	Datos a utilizar en el modelo de Van Rijn de los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.	132
C.1	Sección transversal N° 48 ubicada en el sector Araguaito (Plano N° OODB5422 año 2001).	134

C.2	Sección transversal N° 47 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).....	134
C.3	Sección transversal N° 46 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).....	134
C.4	Sección transversal N° 45 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).....	135
C.5	Sección transversal N° 44 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).....	135
C.6	Sección transversal N° 43 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).....	135
C.7	Sección transversal N° 42 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).....	136
C.8	Sección transversal N° 41 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).....	136
C.9	Sección transversal N° 40 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).....	136
C.10	Sección transversal N° 39 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	137
C.11	Sección transversal N° 38 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	137
C.12	Sección transversal N° 37 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	137
C.13	Sección transversal N° 36 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	138
C.14	Sección transversal N° 35 ubicada en el sector Araguaito (Plano N° OODB5422 año 2001).....	138
C.15	Sección transversal N° 34 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	138
C.16	Sección transversal N° 33 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	139
C.17	Sección transversal N° 32 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	139
C.18	Sección transversal N° 31 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	139
C.19	Sección transversal N° 30 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	140
C.20	Sección transversal N° 29 ubicada en el sector Araguaito, (Plano N° OODB5422 año 2001).....	140
C.21	Sección transversal N° 28 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	140
C.22	Sección transversal N° 27 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	141

C.23 Sección transversal N° 26 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	141
C.24 Sección transversal N° 25 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	141
C.25 Sección transversal N° 24 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	142
C.26 Sección transversal N° 23 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	142
C.27 Sección transversal N° 22 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	142
C.28 Sección transversal N° 21 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	143
C.29 Sección transversal N° 20 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	143
C.30 Sección transversal N° 19 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	143
C.31 Sección transversal N° 18 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	144
C.32 Sección transversal N° 17 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	144
C.33 Sección transversal N° 16 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	144
C.34 Sección transversal ubicada N° 15 en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	145
C.35 Sección transversal N° 14 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	145
C.36 Sección transversal N° 13 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	145
C.37 Sección transversal N° 12 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	146
C.38 Sección transversal N° 11 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	146
C.39 Sección transversal N° 10 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	146
C.40 Sección transversal N° 9 ubicada en el sector Araguaito, (Plano N° OODB5422 año 2001).....	147
C.41 Sección transversal N° 8 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	147
C.42 Sección transversal N° 7 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	147
C.43 Sección transversal N° 6 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	148

C.44	Sección transversal N° 5 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	148
C.45	Sección transversal N° 4 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	148
C.46	Sección transversal N° 3 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	149
C.47	Sección transversal N° 2 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	149
C.48	Sección transversal N° 1 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).....	149
C.49	Sección transversal N° 22 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	150
C.50	Sección transversal N° 21 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	150
C.51	Sección transversal N° 20 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	150
C.52	Sección transversal N° 19 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	151
C.53	Sección transversal N° 18 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	151
C.54	Sección transversal N° 17 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	151
C.55	Sección transversal N° 16 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	152
C.56	Sección transversal N° 15 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	152
C.57	Sección transversal N° 14 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	152
C.58	Sección transversal N° 13 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	153
C.59	Sección transversal N° 12 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	153
C.60	Sección transversal N° 11 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	153
C.61	Sección transversal N° 10 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	154
C.62	Sección transversal N° 9 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	154
C.63	Sección transversal N° 8 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	154
C.64	Sección transversal N° 7 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	155

C.65	Sección transversal N° 6 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	155
C.66	Sección transversal N° 5 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	155
C.67	Sección transversal N° 4 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	156
C.68	Sección transversal N° 3 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	156
C.69	Sección transversal N° 2 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	156
C.70	Sección transversal N° 1 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).....	157
C.71	Modelo 3D del lecho sector Araguaito del canal de navegación río Orinoco.....	157
C.72	Modelo 3D del lecho sector Sacupana del canal de navegación río Orinoco.	157
C.73	Comparación de las fotografías aéreas de los años 1961 y 1985 correspondientes a las misiones VMAST5 y 0501270 respectivamente (Dpto. de Investigación del I.N.C.).....	183
C.74	Comparación de las imágenes satelitales del año 1992 y carta de navegación del año 1995 (Dpto. de Investigación del I.N.C.).....	184

INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como objetivo fundamental analizar los movimientos de los sedimentos y las áreas de descarga para dragas de tolvas en los sectores Araguaito y Sacupana del Canal de Navegación del Río Orinoco en el estado Delta Amacuro.

Los objetivos planteados en el desarrollo de la investigación fueron descritos de manera simultánea para reflejar las características y condiciones geomorfológicas, geotécnicas e hidrodinámicas de los sectores en estudio pertenecientes al Canal de Navegación del río Orinoco.

A efectos de alcanzar estos objetivos una gran cantidad de información y bibliografía consultada permitió conocer algunas recomendaciones que han sido promovidas por algunos investigadores, las cuales han sido ampliamente aceptadas como estatutos hasta el presente.

La investigación forma parte de la amplia gama de estudios elaborados por el Instituto Nacional de Canalizaciones para mejorar el estado actual de tan importante eje fluvial, y contó la colaboración de su personal quienes generosamente suministraron información y conocimientos de la materia.

El trabajo realizado se divide en los siguientes capítulos:

Capítulo I. Situación a investigar: en esta fase de investigación se exponen los argumentos que sustenta el planteamiento del problema central de este estudio. Así mismo, se definen tanto el objetivo general como los objetivos específicos que orientaron el desarrollo del trabajo, el alcance y justificación del mismo.

Capítulo II. Generalidades: en este capítulo se describen las características que posee el río Orinoco y el canal del Orinoco, también se mencionan la ubicación geográfica y acceso al área de estudio.

Capítulo III. Marco teórico: se describen los antecedentes y una serie de elementos conceptuales relacionados con el tema de la presente investigación que sirven de base al desarrollo de la misma.

Capítulo IV. Metodología de trabajo: se explica la forma en que se desarrollo el estudio para poder dar respuesta al problema planteado, haciendo referencia al tipo y diseño de la investigación, población, muestra y finalmente se describe la metodología utilizada para ejecutar cada uno de los objetivos de esta investigación.

Capítulo V. Análisis e interpretación de los resultados: en esta parte de la investigación se procesan los datos y se dan a conocer los resultados, los cuales sirvieron como información necesaria para conocer las características de suelo, morfología e hidrodinámica del área en estudio.

Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones y referencias, producto de la investigación, de los apéndices y anexos que amplían aún más la información de la presente investigación.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

De acuerdo a estudios realizados 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 en el tiempo (durante el ciclo hidrológico anual del río) y espacialmente (a lo largo del cauce 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, es necesario acotar que los sectores Araguaito y Sacupana son sectores del río Orinoco que deben ser dragados para mantener las profundidades navegables.

Asimismo, dichos sectores son dragados, desde hace algunos años, sólo utilizando equipos de tolvas los cuales requieren áreas de descarga, para la depositación del material dragado.

La elección de adecuadas áreas de descarga dependerá de algunas premisas básicas como son:

a) Que estén ubicadas cercanas a las zonas de dragado para garantizar ciclos de dragados lo más cortos posibles (dragado, acarreo, descarga y navegación), de tal forma que se garanticen ciclos de dragados cortos y rentables.

b) Zonas de descarga que posean suficiente capacidad para la depositación de todo el material extraído del lecho del canal.

c) Que la zona de descarga se vea favorecida por los patrones preferenciales de flujo de tal forma que el material allí descargado no retorne a los canales de navegación dragados.

En vista de ello, se plantea como problemática de investigación la necesidad de conocer con mayor detalle todos los aspectos involucrados en el movimiento de sedimentos en dicho sector para sugerir áreas de descarga en ambos sectores.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Analizar el movimiento de los sedimentos y las áreas de descarga para dragas de tolvas en los sectores Araguaito y Sacupana del río Orinoco. Estado Delta Amacuro. Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1.) Describir la morfología del área de estudio.

2.) Describir los parámetros hidráulicos principales de los sectores Araguaito y Sacupana tales como la velocidad del flujo, el caudal y los niveles del agua.

3.) Caracterizar geotécnicamente los materiales del lecho del río en los sectores Araguaito y Sacupana del río Orinoco.

4.) Analizar el movimiento de los sedimentos que se producen en los sectores Araguaito y Sacupana.

5.) Evaluar la capacidad y ubicación de las áreas de descarga para material dragado en los sectores Araguaito y Sacupana.

1.3 Justificación de la investigación

Dentro de los sistemas fluviales el río Orinoco es parte importante del planeta, ubicado al Norte de América del Sur, constituye el segundo río más caudaloso, después del río Amazonas. Cubre 880,000 km², 23,7% en Colombia y el resto en Venezuela. El Orinoco y sus tributarios, son un importante medio de transporte para Venezuela.

Para el mantenimiento del eje fluvial del río Orinoco el Instituto Nacional de Canalizaciones es el responsable con el fin de mantener en óptimas condiciones el canal de navegación, el estudio del flujo de sedimentos en las áreas de descarga de los sectores Araguaito y Sacupana permitirá evaluar si dichas áreas son aptas para que funcionen como zonas de bote de acuerdo a los parámetros hidrodinámicos y morfológicos de la zona.

La optimización de actividades amerita la realización de proyectos de investigación mediante los cuales se den a conocer estos factores, lo cual sin lugar a

dudas, justifica la elaboración del trabajo, el cual pretende complementar la información disponible hasta ahora de los sectores.

1.4 Alcance de la investigación

En los sectores de estudio se plantea revisar la morfología a lo largo de estos tramos con el fin de ubicar zonas profundas, describir los parámetros hidráulicos del río Orinoco para los sectores Araguaito y Sacupana.

En el proyecto se realiza una investigación del tipo de flujo y las condiciones de todos los aspectos que están relacionados en el transporte de sedimentos, evaluar las áreas disponibles para descargar el material extraído del canal de navegación.

CAPÍTULO II GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El área de estudio se localiza al Oriente de Venezuela, hacia el extremo Sureste del estado Delta Amacuro. Comprende los sectores Araguaito y Sacupana, específicamente desde la milla 107.0 hasta la milla 133.0 del canal de Navegación del río Orinoco (figura 2.1).

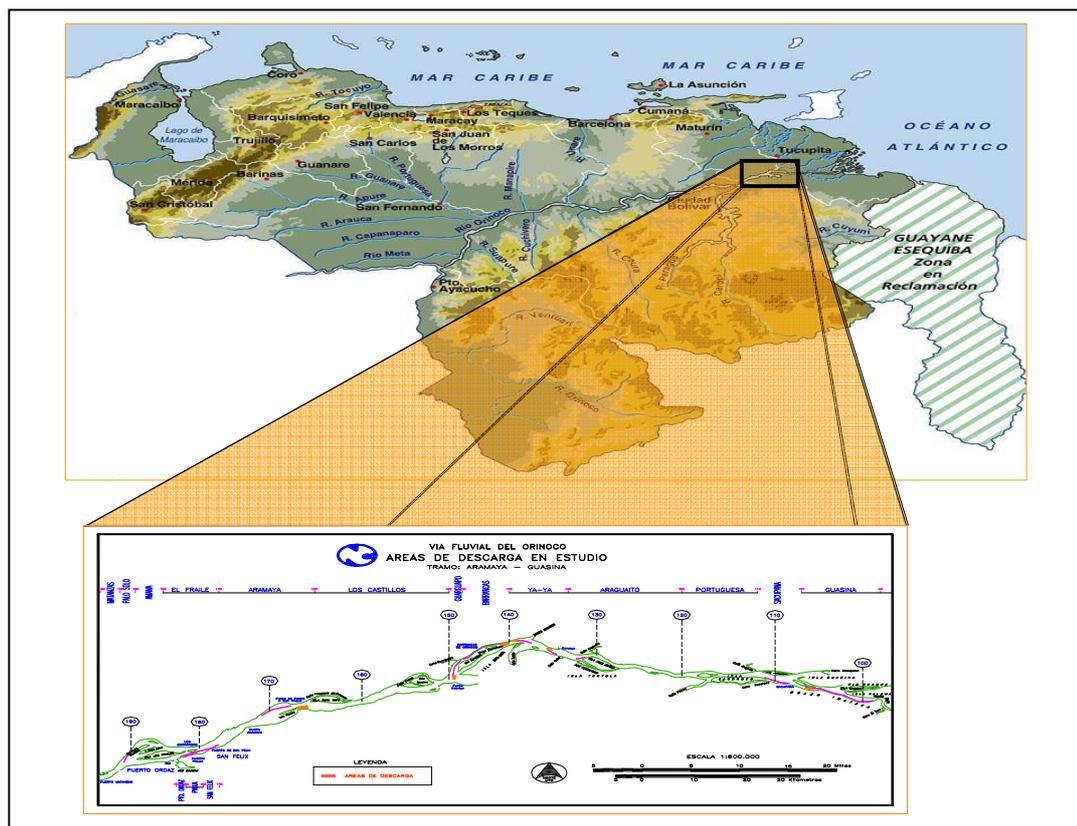


Figura 2.1 Ubicación relativa de los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco (Departamento de Hidrografía del I.N.C.).

2.1.1. Sector Sacupana

Comprendido entre las millas 107.0 y 112.0 de la vía fluvial del Orinoco. Abarca un tramo del río situado al norte de la isla “Caiman” y la curva de la “Vuelta al Diablo” y limitado en su extremo occidental por las islas “Santa Elena” y “Jeborina”. Se ubica por las coordenadas geográficas $61^{\circ} 42'$ — $61^{\circ} 39'$ de longitud Oeste y $8^{\circ} 36'$ — $8^{\circ} 34'$ de latitud Norte (I.N.C., 1997).

2.1.2. Sector Araguaito

Comprendido entre las millas 120.0 y 133.0 de la vía fluvial del Orinoco. Este sector abarca un tramo del río situado al norte de las islas “Portuguesa” y “Socorro”, en su extremo occidental por el “Caño Araguaito” y “Punta Santa Rita” y en su extremo sur por la isla “Tres Caños”. Se ubica por las coordenadas geográficas $62^{\circ} 01'$ — $61^{\circ} 51'$ de longitud Oeste y $84^{\circ} 41'$ — $8^{\circ} 37'$ de latitud Norte (I.N.C., 1997).

2.2 Acceso al área de estudio

Debido a la ubicación geográfica de la zona de estudio, el acceso es limitado y se realiza por vía fluvial, mediante embarcaciones.

2.3 Características físicas y naturales

2.3.1 El río Orinoco

El río Orinoco posee una longitud aproximada de cauce principal de 2100 Km y una cuenca que abarca parte de los llanos colombianos y en Venezuela los estados Anzoátegui, Bolívar, Monagas, Amazonas, Apure, Delta Amacuro y Guárico.

El río 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 (Consultora Caura, 1994).

La cuenca del río Orinoco es única al presentar una captura fluvial activa, como es la del Casiquiare, a través de la cual deriva una proporción importante del flujo del Orinoco hacia el río Amazonas, conectando fluvialmente a dos de los más grandes ríos del planeta.

Desemboca en el Océano Atlántico a través del Delta más grande de Sur América, el cual posee 30.000 Km², de islas y pantanos cubiertos de vegetación muy densa (Consultora Caura, 1994).

2.3.2 Delta del Orinoco

El sistema deltaico del Orinoco formado primordialmente por el Delta del Orinoco y otros cursos de agua como el río Guanipa y San Juan al Norte y al Sur del río Amacuro; se trata de áreas rebajado y muy bajo de origen fluvio marino, cuyos sedimentos han sido depositados enteramente a lo largo del Holoceno. (Corporación Venezolana de Guayana., 1989).

El Delta del Orinoco constituye una planicie sedimentaria de origen fluvio-marino, de pendiente inferior al 1% y cotas altitudinales menores de los 10 metros. Su forma es más o menos arqueada y posee un patrón de drenaje anastomosado con numerosos ramales interconectados. (C.V.G., 1989).

Los 30.000 Km² del Delta son producto de la llegada del Orinoco al Océano Atlántico, con numerosos sedimentos aportados por sus afluentes, los cuales forman

numerosas islas que son separados por brazos y caños del río nombrado, sin embargo, esta extensión aumentará, ya que, el Delta todavía está en proceso de formación

2.3.3 Canal del río Orinoco

El río Orinoco constituye una hidrovía natural que es de vital importancia, dado que es la salida al mundo de la producción de la zona de desarrollo de Guayana, y es también la entrada en donde se reciben los insumos necesarios para las diferentes industrias. De allí la gran importancia para el complejo industrial el uso del Canal del Orinoco. (I.N.C, 2003)

El canal del Orinoco se divide en dos tramos, el primer tramo es El Jobal-Matanzas, el cual es un canal que no requiere de dragado de mantenimiento anual. Tiene una longitud de 350 millas y une las minas de bauxita de Los Pijiguaos con la zona industrial de Guayana, destinado principalmente al transporte de bauxita con trenes de gabarra. Este canal de navegación es muy cambiante y presenta grandes diferencias en profundidades, tanto en el espacio como en el tiempo.

Por otra parte, tenemos el tramo Matanzas-Boca Grande, el cual tiene 195 millas de longitud donde navegan buques de gran calado. Se extiende desde la milla 0 en Boca Grande, en las proximidades de la boya de mar, hasta la milla 195 en Matanzas y une la zona industrial de Guayana con el océano Atlántico. Este canal requiere dragado de mantenimiento anualmente. El transporte se hace con barcos de hasta 80.000 toneladas. (Figura 2.2).

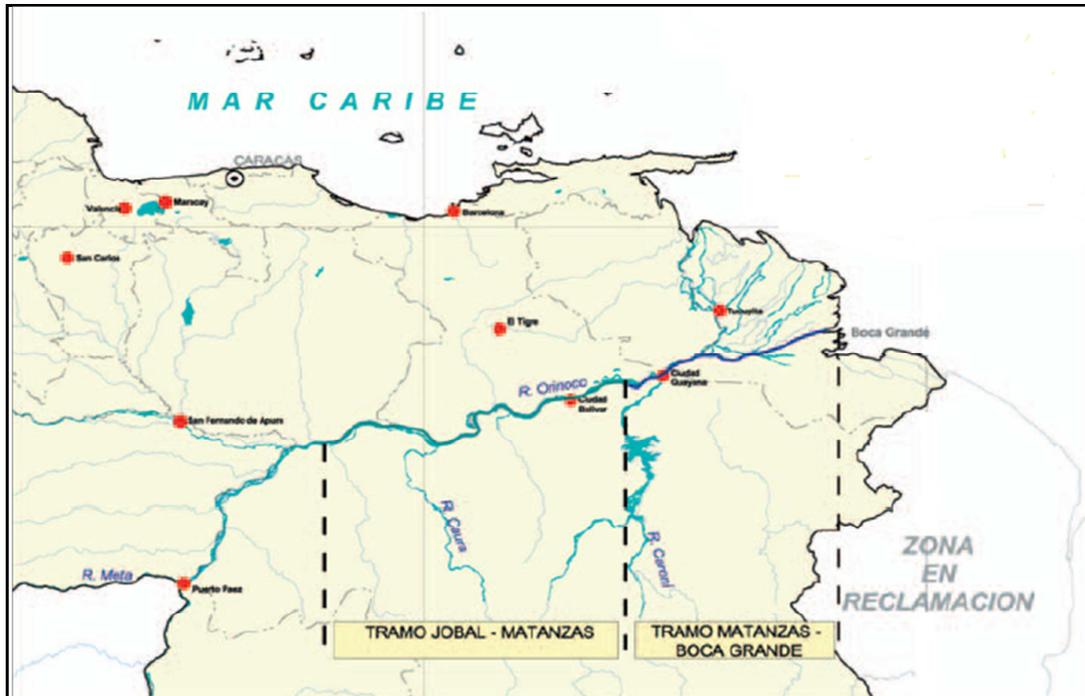


Figura 2.2 Tramos El Jobal – Matanzas y Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

2.3.4 Viento

La Región del Delta del Orinoco, al igual que el resto de la costa Venezolana, se encuentra influenciada por la acción casi constante de los vientos alisios, los cuales presentan una componente Este y Este – Noreste durante todo el año. (C.V.G., 1989)

2.3.5. Vegetación

El Delta del Orinoco está constituido por planicies sedimentarias de origen fluvio-marino, encontrándose en las zonas donde predomina el carácter fluvial, formaciones arbóreas de porte bajo a medio (menor de 25 m de altura) y densidad de cobertura rala a densa. (C.V.G., 1989).

Las formaciones vegetales existentes en este paisaje reflejan en gran medida las condiciones de humedad y salinidad del suelo; en las aéreas influenciadas directamente por la marea salina, predominan los manglares, en los sectores de influencia fluvial – marina, se encuentra un bosque medio – medio, asociado a herbazales de pantano, los cuales están adaptados a las condiciones de hidromorfismo de los suelos y en las zonas de influencia aluvial, se desarrollan bosques de alturas variables, con diferentes grados de resistencia a las condiciones de inundación. (C.V.G., 1989).

Entre las especies características de los bosques desarrollados en las planicies de origen fluvial se encuentra: *Ceiba pentandra*, *Courupita guianensis*, *Tapairira guianensis*, *Erythrina* sp, *Cecropia* sp. (C.V.G., 1989).

En la zona intermedia, cercana al litoral, donde prevalecen los sedimentos de origen fluvio-marino, se encuentran formaciones vegetales que por su porte y densidad corresponden a las mismas unidades que son desarrolladas en las planicies de origen fluvial, sin embargo, están sometidas a severos problemas de drenaje, encontrándose generalmente inundadas, por lo que la abundancia y frecuencia de las especies varían en función de las condiciones edáficas – hídricas. (C.V.G., 1989).

En las zonas de contacto directo con el litoral, donde abundan los sedimentos de origen marino, se desarrollan principalmente formaciones de manglar, los cuales varían en la predominancia de una especie u otra, de acuerdo a la concentración de salinidad, textura de los suelos y fluctuaciones de la marea; en menor proporción se desarrollan herbazales arbolados. Entre las especies que caracterizan estas formaciones se tienen: *Rhizophora mangle*, *Avicennia nítida*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus*. (C.V.G., 1989).

En el sector localizado al sur de Río Grande, que comprende la planicie deltaica conformada tanto por aluviones acarreados por la corriente ecuatorial del norte, como por los ríos provenientes del Escudo Guayanés, se desarrollan formaciones arbóreas de porte variado, asociados en algunos casos formaciones herbáceas. Algunas de las especies existentes en este sector son: *Symphonia globulifera*, *Pterocarpus vernalis*, *Euterpe oleracea*, *Mauritia Flexuosa* (C.V.G., 1989).

2.4 Geología regional y/o local

2.4.1. Geología regional

El sistema deltaico del oriente de Venezuela es realmente un sistema complejo, porque el delta del Orinoco propiamente dicho se prolonga hacia el Norte y se conecta con otras áreas pantanosas, como son los bajos del río Guanipa, el delta del río San Juan y más al Norte las zonas pantanosas de los ríos Guariquen y Tutepano que se extienden hacia el piedemonte de Paria. También se extiende hacia el sur del río Grande, incluyendo el Brazo de Imataca, el caño Arature y los ríos Amacuro y Barinas hasta el límite de Guayana (González de Juana, 1980).

Dentro del área se localizan rocas pertenecientes a las Provincias Geológicas de Imataca y Pastora o Provincias Estructuradas Bolívar y Esequibo Respectivamente, así como también los sedimentos aluviales del Delta del Orinoco. (Mendoza, V., 2000).

2.4.1.1 Complejo de Imataca: Las rocas que componen el Complejo de Imataca afloran en la parte Norte del Estado Bolívar, al este del río Caura y paralelamente al río Orinoco hasta penetrar en el estado Delta Amacuro y hasta la fecha representan las rocas más antiguas y conocidas en la parte norte del escudo (González de Juana 1980).

Se extiende en dirección Suroeste – Noreste desde las proximidades del río Caura hasta el Delta del Orinoco y en dirección Noreste – Sureste aflora desde el curso del río Orinoco hasta la falla de Guri por unos 550 km a 80 km, respectivamente. (C.V.G., 1989).

El complejo de Imataca es una unidad rocosa de alto grado metamórfico (subfacies de la granulita piroxénica) perteneciente al Precámbrico y conformada principalmente por gneises graníticos, gneises antibolíticos, migmatitas, charnokitas y en menor proporción cuarcitas ferruginosas. La edad más apropiada para el metamorfismo de las rocas del complejo de Imataca es de aproximadamente 2500 Ma (Montgonerey y Hurley, 1978), la etapa culminante de este metamorfismo coincide estrechamente con las intrusiones ígneas ocurridas dentro de la Provincia de Imataca. (C.V.G., 1989).

2.4.1.2 Depósitos aluviales recientes: Los sedimentos fluviales recientes se encuentran bordeando el río Orinoco y las corrientes principales de Guayana. Esta constituido principalmente por limos, arcillas y arcillas limosas, interestratificadas con lentes arenosos. Estos materiales son provenientes de la meteorización de las rocas del Complejo de Imataca y de la Formación Mesa, las cuales fueron arrastradas y depositadas por las aguas de escorrentía y por los vientos a partir de Holoceno hasta el Presente, constituyendo las planicies aluvionales y el área de inundación periódica del Orinoco (Gonzalez de Juana, 1980).

Los depósitos aluviales, en general están constituidos por estratos o capas intercaladas de limos, arcillas, arcillas limosas y arenas muy micáceas, que son transportados desde su lugar de origen, por los ríos, hasta llegar al Delta donde se concentran, conformando dichos depósitos.

2.4.2 Geología local

El área de estudio se caracteriza principalmente por presentar sedimentos aluviales, arenas de grano fino a medio, gravas de cuarzo, arcillas y cantidades menores de limos. Se incluye además, sedimentos fluvio – marinos, arcillas turbosas y limosas, turbas y materia orgánica acarreados tanto por la corriente Ecuatorial del Norte como por los ríos del Escudo Guayanés (C.V.G., 1989).

Las muestras recolectadas en el lecho de los sectores Araguaito, Sacupana, evidencian la presencia de un gran contenido de minerales como: cuarzo, Circón, Estauroлита, Hornablenda, Granate, Andalucita, etc., y el alto porcentaje de minerales opacos (aproximadamente 89%). Esto permite deducir que los materiales depositados en el área de estudio son generados principalmente por la desintegración de las rocas del Escudo Guayanés con un pequeño aporte sedimentario proveniente de los llanos venezolanos, resultado de la erosión de la ribera norte del Río Orinoco y el acarreo por este mismo hasta la confluencia de ambos ríos.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

Tippet, Abbet, McCarty y Stratton en 1970 realizaron un estudio al canal de navegación del río Orinoco que se titula “Informe sobre el Transporte de Mineral de Hierro” el cual registra los primeros estudios que se realizaron en el canal de navegación del río Orinoco desde el punto de vista ingenieril, así como también diversos datos técnicos acerca de la navegabilidad del río Orinoco, de igual manera referentes al tipo de sedimentos de fondo presentes en el río para la época de su diseño y de algunos factores que rigen su dinámica sedimentaria. Esta investigación sirve de base en cuanto a los parámetros de la dinámica sedimentaria para la presente investigación.

Marcucci, E. en Noviembre de 1974, realiza un estudio titulado como “Estudio Estadístico del Dragado en el Río Orinoco”, el cual se llevó a cabo entre la milla 42 y la milla 196 durante los periodos 1964-1973, en el mismo se aplicaron parámetros estadísticos que eran utilizados por primera vez en el canal para cálculo de volúmenes y que de una forma muy satisfactoria facilitaron la interpretación de los datos obtenidos durante las labores de dragado de mantenimiento del canal de navegación. Asimismo, la metodología utilizada en el citado trabajo puede ser empleada para el desarrollo cabal de la presente investigación.

Bermúdez, G. en 1990, desarrolló como trabajo de grado un estudio titulado “Determinación de la tasa de sedimentación en el canal de navegación del río Orinoco, los datos sobre las pendientes estimadas en este estudio abarca a los sectores

Araguaito y Sacupana, de acuerdo a esto es de vital importancia para la actual investigación.

Pérez, E. En el año 2004 en su trabajo de grado titulado: “Estudio geomorfológico e hidrodinámico de los sectores Araguaito, Sacupana y Guasina del canal de navegación del Orinoco, estado Delta Amacuro, Venezuela”, concluye que: “el río Orinoco presenta un rendimiento líquido con una magnitud que origina grandes variaciones en su caudal, lo cual es reflejado en las fluctuaciones observadas del nivel de agua entre el período seco y lluvioso, contribuyendo a la formación de diversas estructuras fluvio-morfológicas.” Esta investigación es relevante, ya que demuestra el dinamismo de los sedimentos transportados por el río Orinoco, debido al régimen variante de caudales que causan modificaciones en su lecho.

Consultora Ingeniería Caura, (1994), preparó una investigación solicitada por el Instituto Nacional de Canalizaciones titulado “Estudio del impacto ambiental del dragado del río Orinoco. Matanzas Boca Grande”, este trabajo contiene un desarrollo extenso y detallado de las características bióticas, climáticas y geomorfológicas del área de los sectores Araguaito y Sacupana lo cual servirá de base para la presente investigación de acuerdo a los parámetros hidrodinámicos que se presentan en esta investigación.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Morfología fluvial

Desde la perspectiva geomorfológica, los cursos de agua son esencialmente agentes de erosión y transporte de sedimentos que, cada año y en función de las características medioambientales de sus cuencas, transfieren grandes cantidades de

material sólido desde el interior de los territorios drenados hacia las partes bajas de los mismos y hacia el mar (López, B. 1990).

3.2.2 Pendiente hidráulica

La pendiente hidráulica de un río muestra como éste va perdiendo cota a lo largo de su recorrido, en él se puede observar la pendiente de cada tramo. Los perfiles longitudinales de los ríos suelen presentar forma cóncava, su pendiente disminuye desde las zonas más erosivas (zonas de cabecera), a las zonas donde predomina la sedimentación (zonas de desembocadura o bajas). Se establece una función del tipo (Chang, H. 1988). (Figura 3.1).

Para calcular la pendiente hidráulica de un canal se utiliza la siguiente fórmula:

$$m = \frac{h_2 - h_1}{d} \quad (3.1)$$

Donde:

m : Pendiente hidráulica.

$h_2 - h_1$: Diferencia de altura del río.

d : Distancia entre los dos puntos.

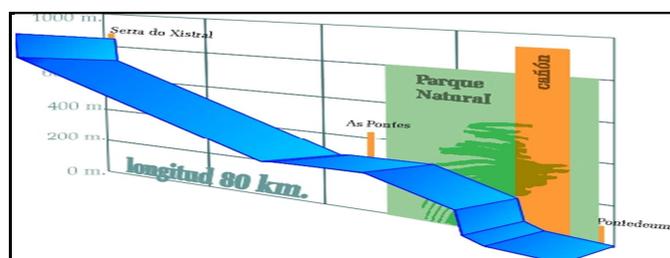


Figura. 3.1 Perfil longitudinal de un río.

3.2.3 Trazado de un río

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 (Church, M. 1992).

3.2.3.1 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 (figura 3.2) (Church, M. 1992).

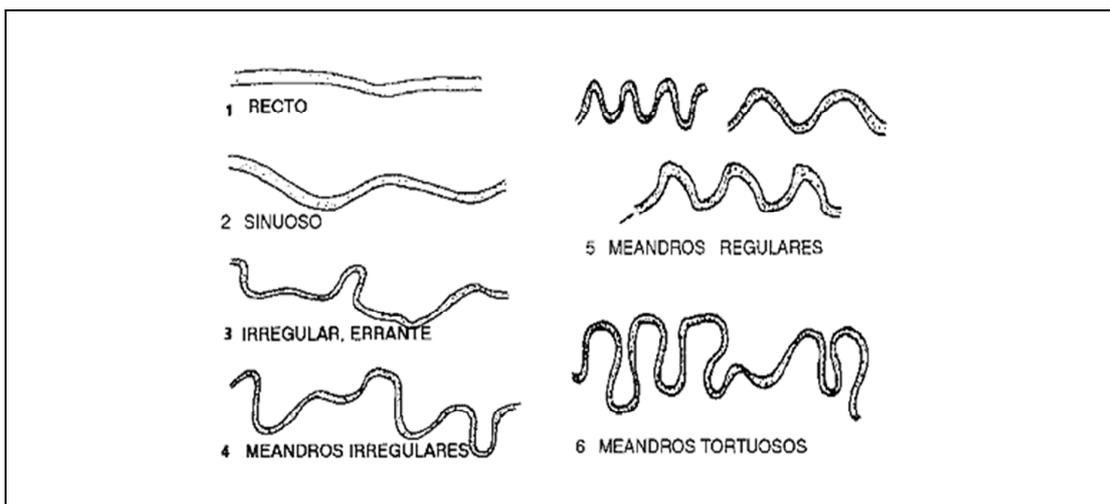


Figura 3.2 Trazados de un río. (Church, M. 1992)

3.2.3.2 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 (Church, M. 1992).

3.2.3.3 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 3.2).

3.2.4 Trabajo geológico de los ríos

Según Chang, H. 1988, el trabajo geológico de las corrientes fluviales consiste en tres actividades interrelacionadas:

3.2.4.1 Erosión: es originada por la corriente es la progresiva remoción de materia mineral del fondo y las orillas del cauce ya sea excavado este en el sustrato rocoso o en el manto residual transportado.

3.2.4.2 Transporte: consiste en el movimiento de las partículas erosionadas mediante el arrastre de fondo, suspensión en la masa de agua o disolución.

3.2.4.3 Sedimentación: es la acumulación progresiva de las partículas transportadas sobre el lecho del río.

3.2.5 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).

3.2.5.1 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 mas acentuadas, llegando a ser removidas y desplazadas por el flujo, lo que ocurre con mayor intensidad en las inmediaciones a las confluencias con los contribuyentes que aportan apreciable cantidad de sedimentos arenosos. (Pérez, E. 2004).

3.2.5.2 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).

3.2.5.3 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 (Perez, E. 2004).

3.2.6 Transporte de sedimentos

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

3.2.6.1 sedimentos en suspensión: que 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. (Perez, E. 2004).

3.2.6.2 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. (Perez, 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.

3.2.7 Carga suspendida

“Cuando el valor de la velocidad de la corriente en el lecho excede la velocidad de caída de la partícula, la partícula puede ser elevada a un nivel en el cual las fuerzas turbulentas son iguales o mucho mayores que el peso de la partícula sumergida y como resultado de ello, la partícula ocasionalmente es transportada en suspensión” (Van Rijn, Leo, 1993).

El material en suspensión tiene como límite superior la superficie del agua y un vago límite inferior donde se confunde con la carga del lecho (Pravia, J. 1987).

En el río Orinoco la carga anual de sedimentos en suspensión fue estimada en el orden de 400 millones de metros cúbicos en el estudio denominado "Transporte de Mineral de Hierro desde Puerto Ordaz al Mar", realizado por Tippetts, Abbett, Mc. Carthy y Stratton en Mayo de 1970.

3.2.8 Carga de Lecho

Cuando las condiciones críticas para que el proceso de erosión se inicien son sobrepasadas, en el lecho del cauce se produce un movimiento de escalada, salto y escurrimiento de las partículas. Al volumen de sedimentos que se mueve de esta forma se le conoce como carga del lecho (Pravia, J. 1987).

El transporte de la carga de lecho se debe a esfuerzos de arrastre en el fondo del río a diferencia del mecanismo turbulento que causa el transporte de los sedimentos en suspensión. Estudios realizados indican que el mejor parámetro para calcular el flujo de los materiales de la carga de lecho es probablemente la velocidad del agua.

3.2.9 Sedimentos cohesivos y no cohesivos

Los sedimentos del lecho de un canal o río pueden estar compuestos por materiales cohesivos o no (Pravia, J. 1987).

El mecanismo de transporte, erosión y disposición de sedimentos cohesivos es de naturaleza diferente al que rige los sedimentos no cohesivos, los cuales son principalmente transportados como partículas discretas con dimensión y densidad constante (Pravia, J. 1987).

El análisis hidráulico de la mayoría de los lechos puede basarse en la hipótesis de que el material de fondo es limpio, granular y no cohesivo. Además, los suelos cohesivos cuando son fracturados forman partículas compactas que se comportan hidráulicamente como material granular, regresando a su estadio inicial al depositarse en un sitio de calma (Pravia, J. 1987).

3.2.10 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).

$$v = \frac{1.49}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (3.3)$$

Donde:

v = Es la velocidad media en pies/s.

Rh = 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.

3.2.11 Secciones transversales en canales naturales

Los ríos en su mayoría se caracterizan por tener canales con contornos móviles, los cuales alteran su sección con el flujo. Las características geométricas más importantes, desde el punto de vista de la mecánica de los fluidos (Pravia, J 1987).

$$Rh = A / Pm \quad (3.2)$$

Donde

A = Área mojada.

Pm: Perímetro mojado.

Rh: Radio hidráulico.

3.2.12 Formas del lecho

Los sucesivos y continuos procesos de erosión y sedimentación en las aguas de los ríos dan lugar a diferentes formas del lecho, con una redistribución de las partículas formando acumulaciones más o menos regulares, intercaladas por espacios. En los tramos o ríos arenosos se desarrollan las denominadas rizaduras, dunas, lecho liso o antidunas, en función del tipo de régimen de los caudales. (figura 3.3). (Chang, H. 1988).

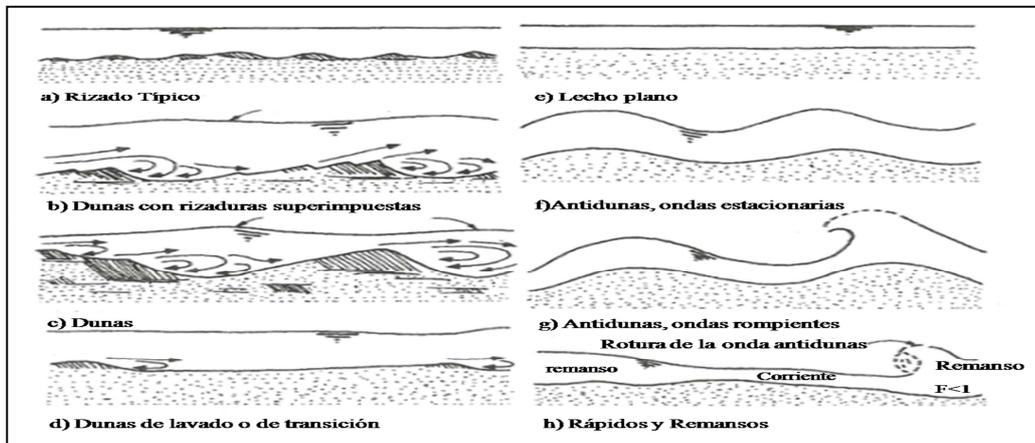


Figura.3.3 Formas del lecho en ríos arenosos (Chang, 1988).

3.2.13 Factores que afectan las formas del lecho

El análisis teórico de formas del lecho no puede ser aplicado a estudios de campo directamente para la predicción de las formas del lecho, porque es difícil satisfacer las asunciones usadas en el análisis (Chang, H. 1988).

3.2.13.1 Profundidad: La profundidad del agua está relacionada con la profundidad relativa D/d , o rugosidad relativa d/D , y la distribución de la velocidad del flujo. Un incremento en la profundidad del agua puede causar un lecho de dunas y llegar a ser un lecho plano o antiduna. Una disminución de la profundidad puede revertir el proceso (Chang, H. 1988).

3.2.13.2 Pendiente: Para una profundidad constante, un incremento en la pendiente del canal o en la energía puede cambiar todas las formas del lecho de las de bajo régimen de flujo hasta las de alto régimen de flujo. La resistencia al flujo es una función de la pendiente de energía aún más si la forma del lecho permanece invariable. Para un lecho de rizadura con poca profundidad, la resistencia al flujo se incrementa con el incremento de pendiente, y no es sensible a cambios de pendiente con flujos profundos. Para un lecho de dunas, la resistencia al flujo generalmente disminuye con el incremento de pendiente, y no es sensible a cambios de pendiente con flujos profundos. Para un lecho de dunas, la resistencia al flujo generalmente disminuye con el incremento de la pendiente cuando la profundidad es poca, y puede incrementarse moderadamente con incremento de la pendiente cuando la profundidad es grande (Chang, H. 1988).

3.2.13.3 Densidad: Un incremento en la concentración de los sedimentos finos incrementará la densidad de la mezcla agua-sedimento, y disminuye el peso sumergido del sedimento y la resistencia al flujo (Chang, H. 1988).

3.2.13.4 Tamaño del material del lecho: Un cambio del material del lecho puede cambiar la rugosidad del grano y la distribución vertical de la concentración de sedimentos (Chang, H. 1988).

3.2.13.5 Gradación del material del lecho: Las formas del lecho del material uniforme es más regular y su resistencia al flujo es mayor que la del material gradado con el mismo tamaño medio de la partícula (Chang, H. 1988).

3.2.13.6 Velocidad de la caída: Esta es una de las variables primarias que determina la interacción entre las partículas de sedimento y el flujo. Un incremento en la velocidad de la caída puede aumentar la resistencia al flujo y cambiar la forma del lecho de rizaduras a dunas (Chang, H.1988).

3.2.13.7 Forma de la sección transversal del canal: La forma de la sección transversal del canal afecta la velocidad y la distribución del esfuerzo cortante. Las distribuciones no uniformes de la velocidad y del esfuerzo cortante pueden causar múltiples formas del lecho coexistiendo transversalmente y a lo largo del canal (Chang, H. 1988).

3.2.13.8 Flujo de filtraciones: El flujo de filtraciones dentro del canal puede reducir el peso efectivo de las partículas de los sedimentos y la estabilidad de los mismos. El flujo de sedimentos dentro de los bancos y fondo del río tiene el efecto opuesto (Chang, H.1988).

3.2.14 Movimiento incipiente de las partículas en corriente

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.

Los modelos de movimiento incipiente que se aplicaran en los sectores en estudio son los siguientes:

3.2.14.1 Movimiento incipiente según Shields, A. (1984): en Yang, C. (1996) creía que era muy difícil expresar 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 τ , la diferencia en densidad entre el sedimento y el fluido $\rho_s - \rho_f$, el diámetro de la partícula d , la viscosidad cinemática ν , y la aceleración de la gravedad g . Estas cinco cantidades, pueden ser agrupadas en dos cantidades adimensionales,

$$d (\tau_c / \rho_f)^{1/2} / \nu = d U_* / \nu \quad (3.4)$$

$$\tau_c / (d(\rho_s - \rho_f)g) = \tau_c / (d\gamma(\rho_s / \rho_f) - 1) \quad (3.5)$$

Donde:

ρ_s y ρ_f = son las densidades del sedimento y el fluido, respectivamente.

γ = peso específico del agua.

U_* = velocidad de corte.

τ_c = esfuerzo cortante crítico en el movimiento inicial.

La relación entre estos dos parámetros está entonces determinada experimentalmente. La Figura 3.3 muestra 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.

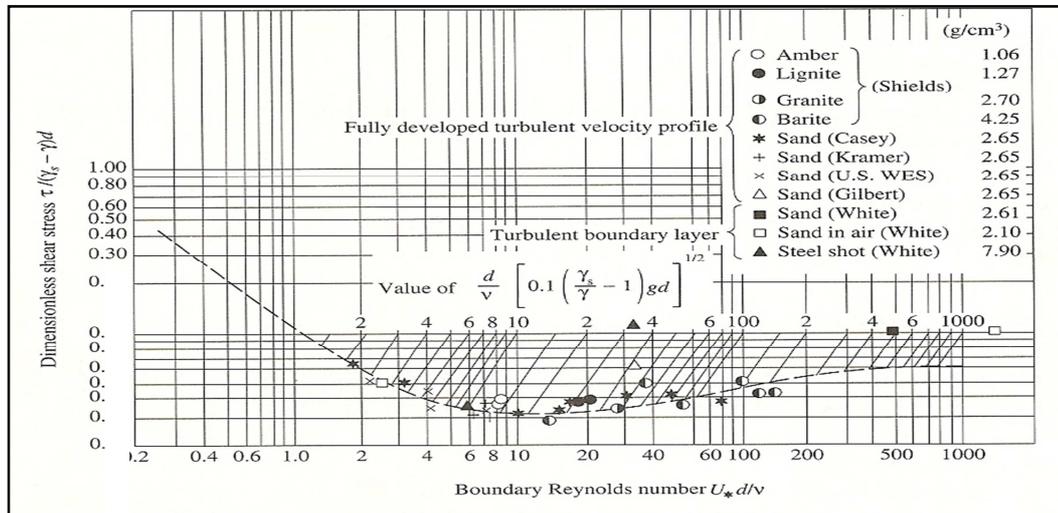


Figura 3.4 Diagrama de Shields para movimiento incipiente (Vanoni, 1975 en Yang, C. 1996).

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 (Yang, H. 1996) usa un tercer parámetro:

$$(d/v) [0.1((\gamma_s/\gamma) - 1)gd] \quad (3.6)$$

Donde:

d = diámetro medio de la partícula

ν = viscosidad cinemática del agua

γ_s = peso específico del material del lecho

γ = peso específico del agua

g = gravedad

El uso de este parámetro permite determinar su intersección con el diagrama de Shields y sus correspondientes valores de esfuerzo cortante. La relación básica mostrada en la Figura 3.3 ha sido probada y modificada por diferentes investigadores.

3.2.14.2 Modelo de movimiento incipiente según Hjulström (1956): analizó el problema de erosión, transporte y depositación con base en la velocidad media del flujo. Debido a que la velocidad del fondo es casi siempre muy 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 ($V_b < 0.4 V$).

Hjulström presentó el diagrama mostrado en la Figura 3.5, donde demarca las zonas de transporte, depositación y zonas donde se inicia el movimiento. 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.

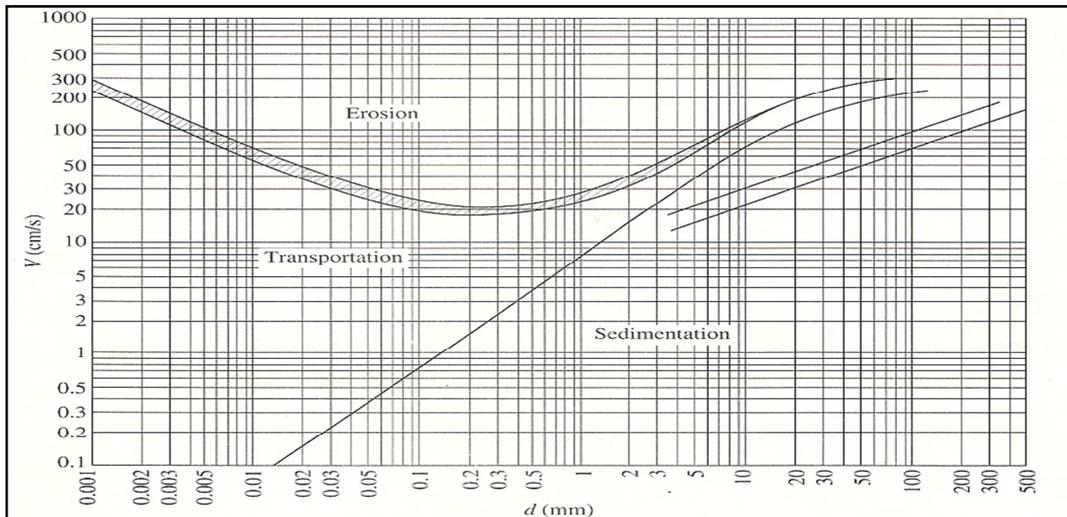


Figura 3.5 Criterio erosión – depositación para partículas uniformes (Hjulstrom, (1935 en Yang, H. 1996).

3.2.14.3 Modelo de movimiento incipiente según Van Rijn (1989): el movimiento de una partícula ocurre cuando la fuerza del fluido sobre la partícula, esta justamente a lo largo de la fuerza de fricción la cual está relacionada con el peso de la partícula sumergida y el coeficiente de fricción la cual esta relacionada con el peso de la partícula sumergida y el coeficiente de fricción. Las fuerzas cohesivas son importantes cuando el material de lecho esta constituido por una cantidad apreciable de partículas de arcillas y limos.

Para el año 1984, Shields define al esfuerzo de corte (τ) como la diferencia de densidad entre el sedimento y el fluido el diámetro de la partícula d , la viscosidad cinemática ν y la aceleración gravitacional g , como factores de importancia en la determinación del movimiento incipiente.

Estas cinco cantidades pueden ser agrupadas en dos cantidades dimensionales, nombradas a continuación:

$$\theta_{cr} = \tau_{b,cr} / [(\rho_s - \rho)]gd50 \quad (3.7)$$

$$\tau_{b,cr} : \rho g h I \quad (3.8)$$

Donde:

$\tau_{b,cr}$ = Esfuerzo crítico cortante.

ρ = Densidad del fluido.

ρ_s = Densidad del material.

g = Gravedad.

$d50$: Diámetro medio de la partícula.

h : Profundidad del agua.

I : Pendiente hidráulica.

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

Si $Re^* \leq 5$, el flujo es laminar, si está en el rango de $5 \leq Re^* \leq 70$ el flujo está en un estado de transición de laminar a turbulento, mientras que si $Re^* \geq 70$ el flujo es completamente turbulento. Muchos experimentos han sido efectuados para determinar θ_{cr} como función Re^* . (figura 3.6).

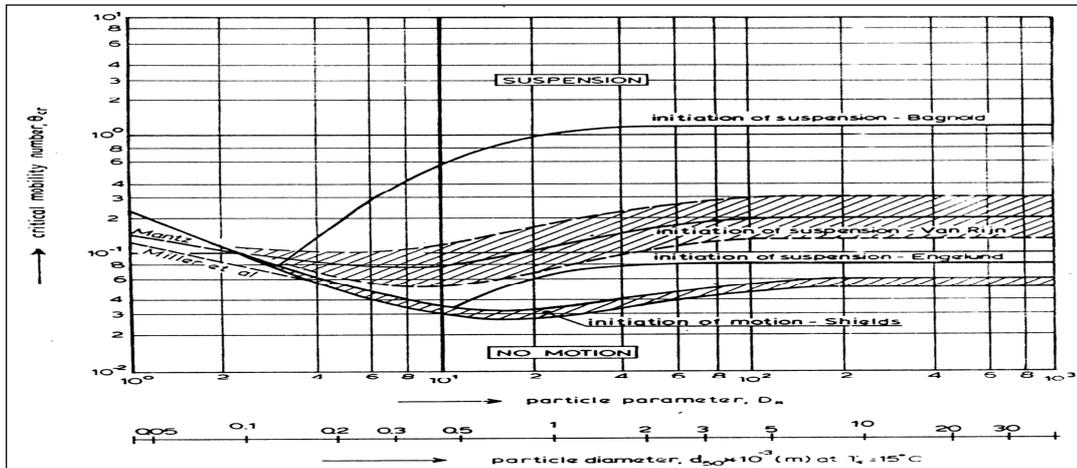


Figura 3.6. Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho (Van Rijn, L.1989).

3.2.15 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, A. 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, A. 1970).

3.2.16 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, A. 1970).

3.2.17 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, A. 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, A. 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.

3.2.18 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 determina la sección transversal, la geometría del cauce, sus caudales, contiene cuatro dimensiones que permiten el análisis de los componentes de un río: el flujo de agua constante para cálculos del perfil de la superficie, simulación de flujo estacionario, cálculos de transporte de sedimentos, y análisis de la calidad del agua. Un elemento clave es que los cuatro componentes utilizan una representación geométrica de datos más comunes y los cálculos hidráulicos rutinarios y geométricos. Además de los cuatro componentes del análisis de los ríos, el sistema contiene varias características de diseño hidráulico que puede invocarse una vez que la superficie del agua se va a calcular los perfiles de base.

Este componente del sistema de modelado se destina para la simulación del transporte de sedimentos unidimensional con cálculos resultantes de erosión y deposición sobre períodos de tiempo moderado.

(<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>)

3.2.19 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, inundaciones rurales y urbanas, modelado de estuarios, circulación costera y 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

Esta investigación se encuentra enmarcada a un nivel descriptivo debido a que se enfoca en relaciones precisas entre las características geomorfológicas y geotécnicas del lecho, los parámetros hidráulicos, el movimiento de los sedimentos, tal como lo expresa (Dankhe, 1986) que define como investigación descriptiva aquella que consiste en la caracterización de un hecho, o fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento. El investigador describe situaciones y eventos. Los estudios buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis.

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, es decir, al que se puede acudir como fuente o referencia en cualquier momento o lugar, sin que se altere su naturaleza o sentido, para que aporte información o rinda cuentas de una realidad o acontecimiento. (Cázares, L. 1999).

De acuerdo a lo anterior la investigación es documental ya que por medio de bibliografías e investigaciones previas realizadas sobre los registros de aforos de caudales en la zona de estudio, nivel de las aguas en distintas épocas del año, levantamientos batimétrico del sector, cuya información será suministrada por el

Instituto Nacional de Canalizaciones como también se acudirá a información recopilada de libros que permitirán el desarrollo de la presente.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

“La población se define como cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación”. (Balestrini, A 1998) (p.122)

La población está constituida por todo el cuerpo de agua y lecho del río en los sectores Araguaito y Sacupana el cual está ubicado en las progresivas 107 millas hasta 133 millas del río Orinoco según las cartas de navegación para el canal Orinoco editadas por el Instituto Nacional de Canalizaciones.

4.3.2 Muestra

Se efectuará un muestreo opinático de los materiales del lecho, el cual no aplica ningún criterio técnico-estadístico, sino que se realiza de forma intencional en lugares de interés, el resto de los elementos que intervienen en la presente investigación se estudiarán de forma global, la cual propone soluciones a una situación claramente determinada.

4.4 Técnica e instrumentos implementados

4.4.1 Técnicas

Revisión bibliográfica sobre el objeto de estudio.

Revisión de informes técnicos y trabajos de investigación previos.

Revisión de planos del área de estudio.

Recopilación de ensayos geotécnicos (análisis granulométrico, análisis de forma, ensayo de corte directo).

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

4.4.2 Instrumentos

Computador.

Cámara fotográfica.

Equipos de dibujos.

Software (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.

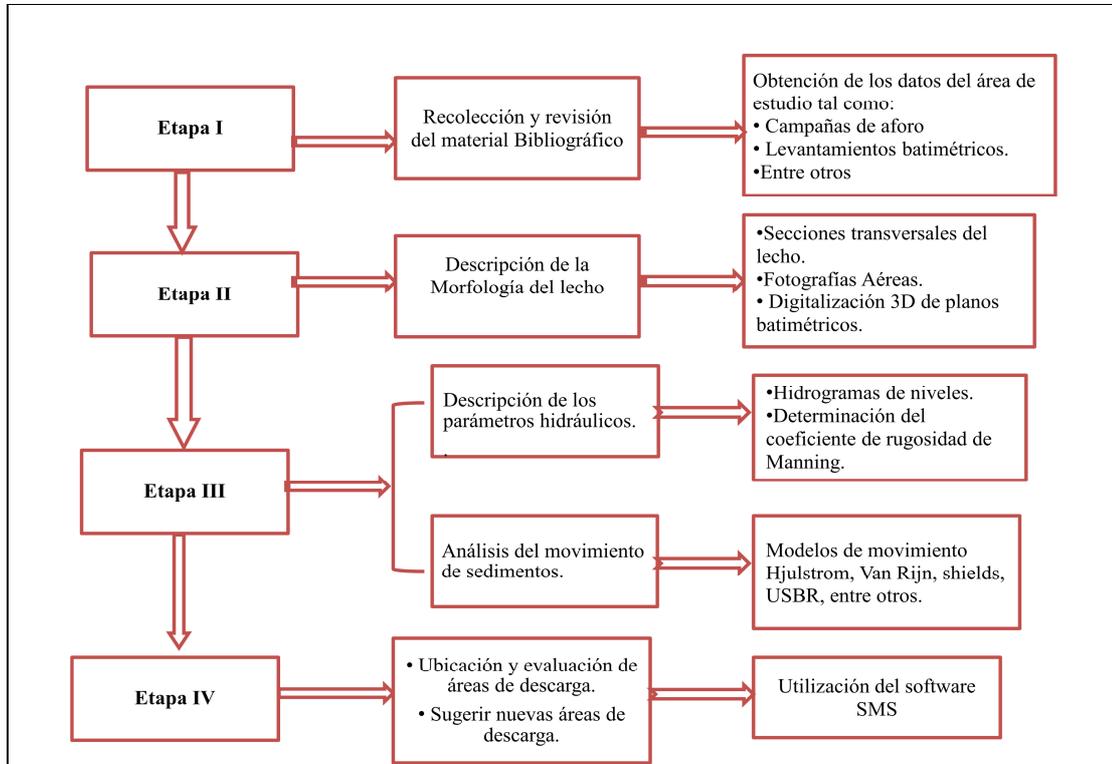


Figura 4.1 Flujograma de la investigación.

4.6 Descripción del flujograma de la investigación

4.6.1 Etapa I recopilación de información

4.6.1.1 Recolección y revisión bibliográfica: comprendió la búsqueda y selección de todo material que proporciona información sobre el tema estudiado referente a la morfología de ríos, propiedades físicas, dragado, utilizando varias fuentes bibliográficas, como libros, tesis y toda la información que puede ser obtenida a través de internet.

4.6.1.2 Obtención de datos del área en estudio: se realizó posteriormente al estudio bibliográfico, en la cual se le solicitó al I.N.C a través de la Gerencia Canal del Orinoco información acerca del área de estudio, de esta institución se recibieron un conjunto de datos que fueron necesarios para el desarrollo de esta investigación los cuales se nombran a continuación:

Planos batimétricos de los sectores Araguaito y Sacupana Año 2001.

Registros de los niveles promedios mensuales de la estación Palúa durante el período 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 1997-2003.

Tasa de sedimentación en los sectores Araguaito millas 131.5-132.2 y Sacupana millas 109.2-111.5.

Imágenes satelitales del área de estudio.

Información bibliográfica referente a las características geológicas, climatológicas y bióticas presentes en el área de estudio, de la Consultora Caura.

Planos batimétricos de las actuales áreas de descarga en digital.

Planos batimétricos costa a costa de los sectores en digital.

4.6.1.3 Recolección de datos geotécnicos: Se recopilaron los datos sobre el análisis granulométrico, ángulo de fricción interna, análisis de forma de los granos y contenido mineralógico de los materiales del lecho los cuales fueron suministrados por el I.N.C. Cabe destacar que estos datos geotécnicos se utilizaron para los diferentes modelos de movimiento de sedimento.

4.6.2 Etapa II Descripción de la morfología del lecho

Con el fin de visualizar la morfología del área de estudio se digitalizó en 3D los planos batimétricos costa a costa 2001 de los sectores Araguaito y Sacupana por medio del software Surfer Golden 8.0.

También se realizaron secciones transversales cada 500 mts en los 11 planos correspondientes a los sectores Araguaito y Sacupana, los cuales muestran perfiles del lecho, donde las ordenadas son las profundidades totales y las abscisas la distancia acumulada.

4.6.3 Etapa III Describir los parámetros hidráulicos

1.) En el primer lugar se realizaron los hidrogramas de niveles máximos, promedios y mínimos del río correspondientes a los sectores Araguaito y Sacupana para los últimos 66 años. Para ello fue necesario 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.

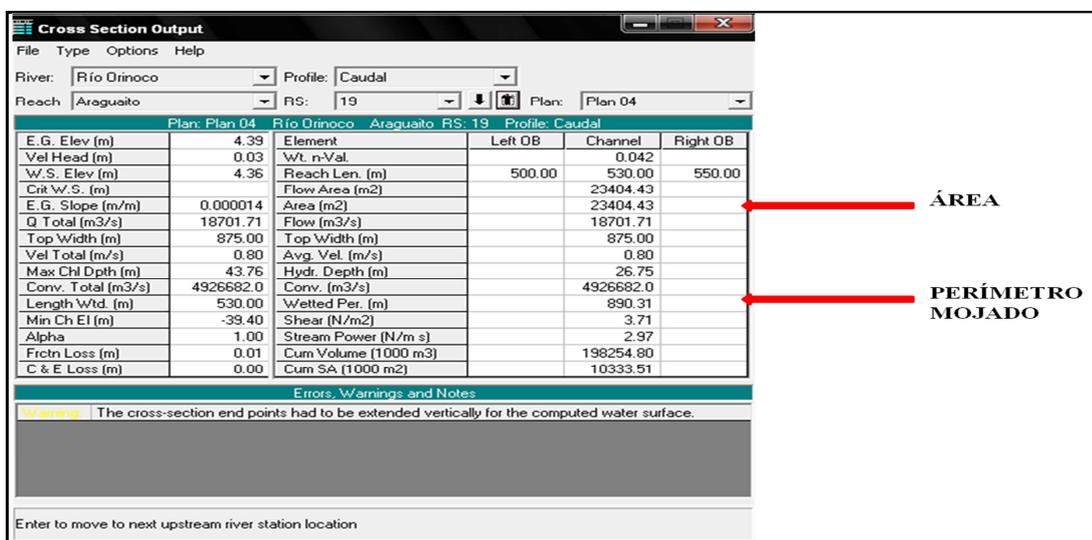
2.) Se efectuaron diagramas de distribución de las velocidades en las secciones de aforo, para ello se ameritará recopilar las campañas de aforo efectuadas en los sectores a fin extraer los datos de velocidades de corriente, caudales líquidos y

sólidos, datos de la sección de aforo (ubicación), niveles del río para la fecha del aforo.

3.) Se realizó la correlación gráfica de las velocidades de corriente, caudales líquidos y niveles del río lo cual permitirá inferir la magnitud de la velocidad de la corriente y del caudal conociendo el nivel del río en la sección.

4.) Se determinaron 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.

5.) Se calculó el área de las secciones transversales de aforos, el perímetro mojado, el radio hidráulico utilizando para ello la datailed output tables (Tabla detallada de salida) como se muestra en la figura 4.2 ubicada en el software HEC – RAS 3.1.



Plan: Plan 04		Río Orinoco Araguaito RS: 19 Profile: Caudal		
Element	Left OB	Channel	Right OB	
E. G. Elev (m)	4.39			
Vel Head (m)	0.03	0.042		
W.S. Elev (m)	4.36			
Crit W.S. (m)				
E. G. Slope (m/m)	0.000014			
Q Total (m3/s)	18701.71			
Top Width (m)	875.00			
Vel Total (m/s)	0.80			
Max Chl Dpth (m)	43.76			
Conv. Total (m3/s)	4926682.0			
Length Wtd. (m)	530.00			
Min Ch El (m)	-39.40			
Alpha	1.00			
FrcLn Loss (m)	0.01			
C & E Loss (m)	0.00			
Wt. n-Val		0.042		
Reach Len. (m)	500.00	530.00	550.00	
Flow Area (m2)		23404.43		
Area (m2)		23404.43		
Flow (m3/s)		18701.71		
Top Width (m)		875.00		
Avg. Vel. (m/s)		0.80		
Hydr. Depth (m)		26.75		
Conv. (m3/s)		4926682.0		
Wetted Per. (m)		890.31		
Shear (N/m2)		3.71		
Stream Power (N/m s)		2.97		
Cum Volume (1000 m3)		198254.80		
Cum SA (1000 m2)		10333.51		

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 upstream river station location

Figura 4.2 Tabla detallada de salida, en las que se muestra cada sección transversal del tramo de estudio.

6.) Se Determinó el coeficiente de rugosidad de Manning. Este objetivo se realizara aplicando el software HEC – RAS 3.1. El cual permite introducir las secciones transversales ubicadas en todo el tramo de estudio. A continuación se dará una breve explicación de los pasos necesarios para el funcionamiento del software. (Figura 4.3).

a.) Iniciando el programa

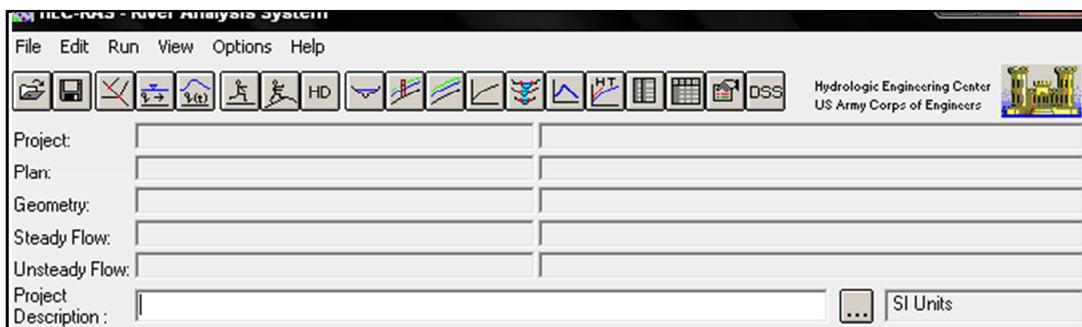


Figura 4.3 Ventana Principal del Software HEC-RAS, iniciando el programa.

b.) Trazado del río georeferenciado el tramo de estudio.

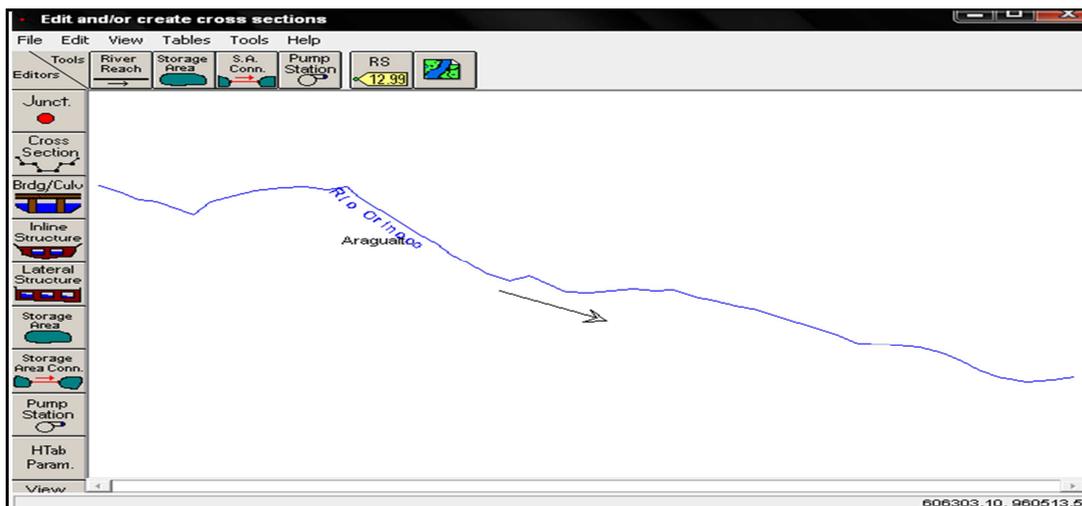


Figura 4.4 Esquema del río georeferenciado para el sector Araguaito indicando la dirección del flujo.

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).

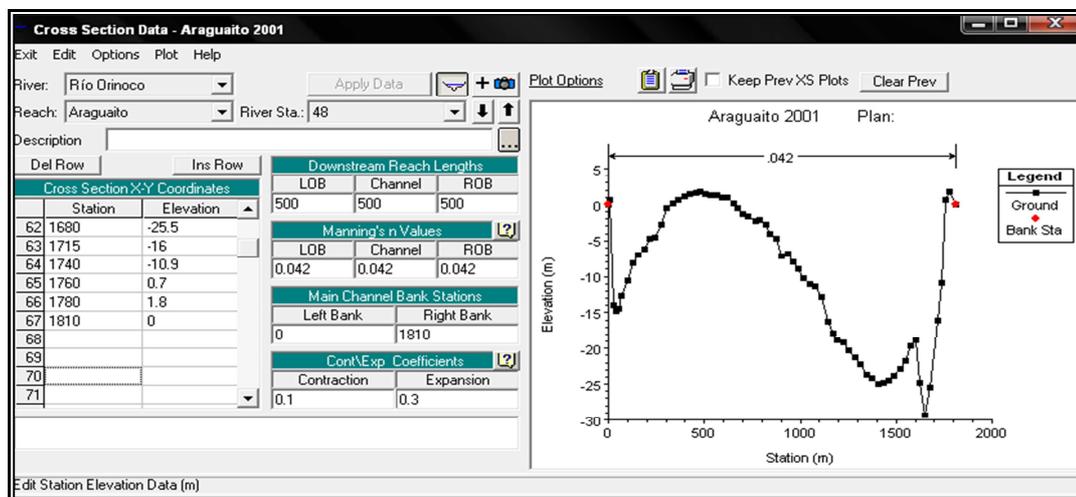


Figura 4.5 Asignación de los valores de la sección transversal numero 48 para el sector Araguaito.

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.

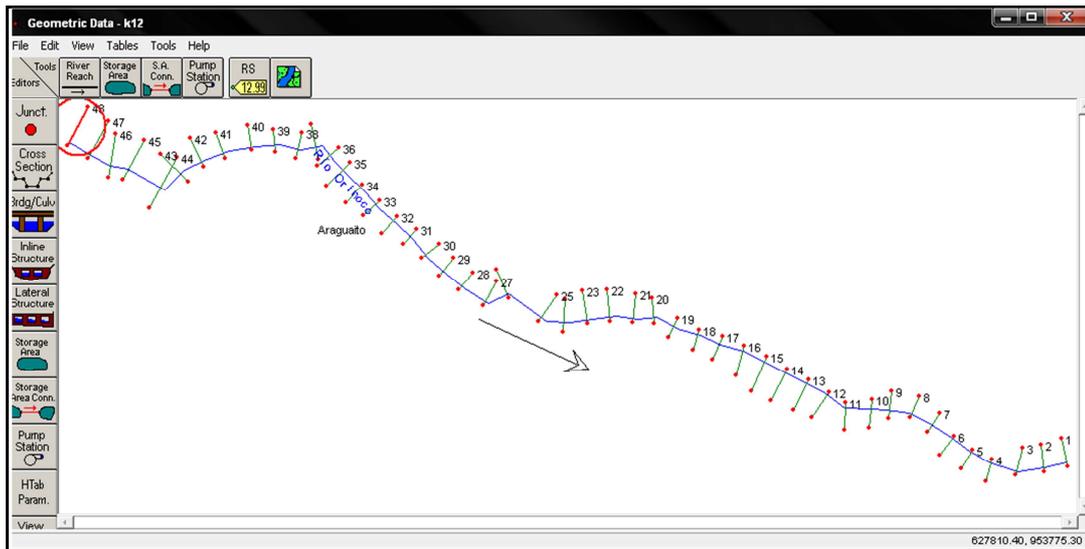


Figura 4.6 Esquema en planta del sector Araguaito con las 48 secciones transversales separadas por los LOB, CHANNEL y ROB.

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

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates
River	Reach	RS	Caudal
1 Río Orinoco	Araguaito	48	18701.71

Figura 4.7 Ventana para ingresar datos del caudal del río y nivel del agua para el análisis.

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



Figura 4.8 Ingresando el nivel del agua para el caudal en la sección de aforo Tres caños Norte, del sector Araguaito.

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

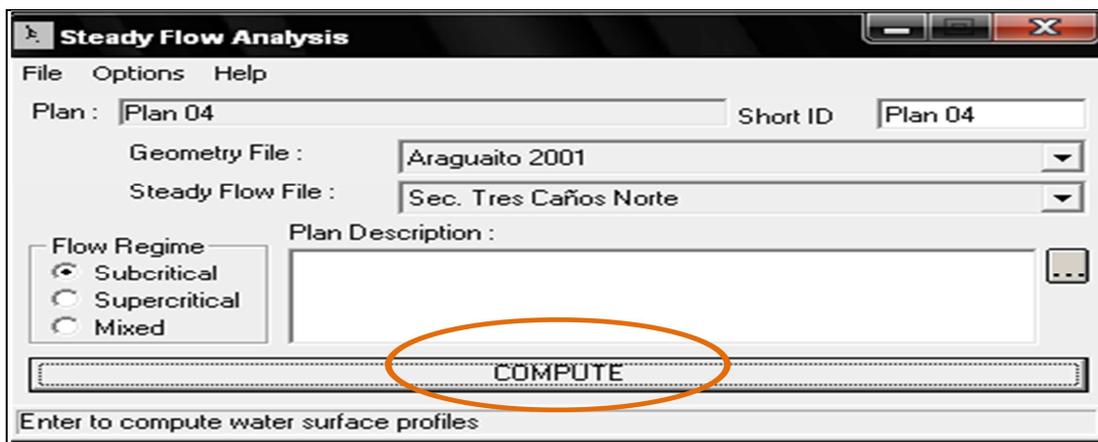


Figura 4.9 Análisis del flujo para un régimen subcrítico, utilizando la data geométrica del sector Araguaito.

Los resultados de este análisis se agrupan en una tabla resumen, la cual muestra parte de la data ingresada como también las velocidades y niveles calculados por el programa para cada una de las secciones transversales ingresadas, el software también estima las pendientes entre secciones, así como también la perspectiva del ploteo de los puntos en x-y-z. Como se muestra en la figura. 4.10.

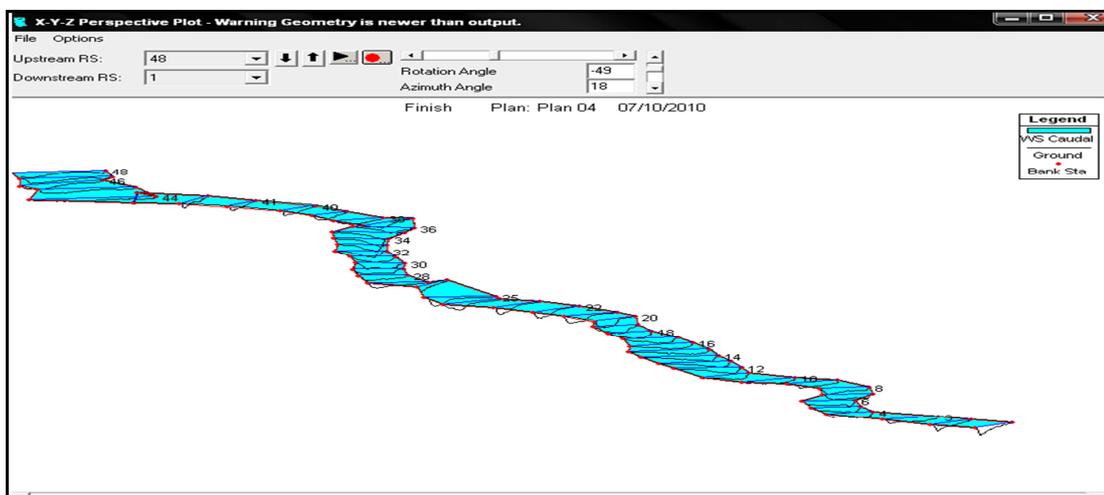


Figura 4.10 Perspectiva del ploteo en x-y-z para las 48 secciones transversales del sector Araguaito.

4.6.4 Etapa IV Evaluar la capacidad y ubicación de las áreas de descarga para los sectores Araguaito y Sacupana

Se utilizará información batimétrica costa a costa del sector de estudio en digital en formato DXF y texto con el fin de obtener datos de coordenadas y profundidades.

Por medio del programa SMS (Surface - Water Modeling System) se realizará una simulación de las corrientes de río utilizando el modelo FSWMS para el cual se dará una breve explicación de las herramientas e información solicitada por dicho programa.

4.6.4.1 Iniciando el programa: al iniciar el programa se desplegará la pantalla del SMS en el que se encontraran las barras principales como también los comandos activos.

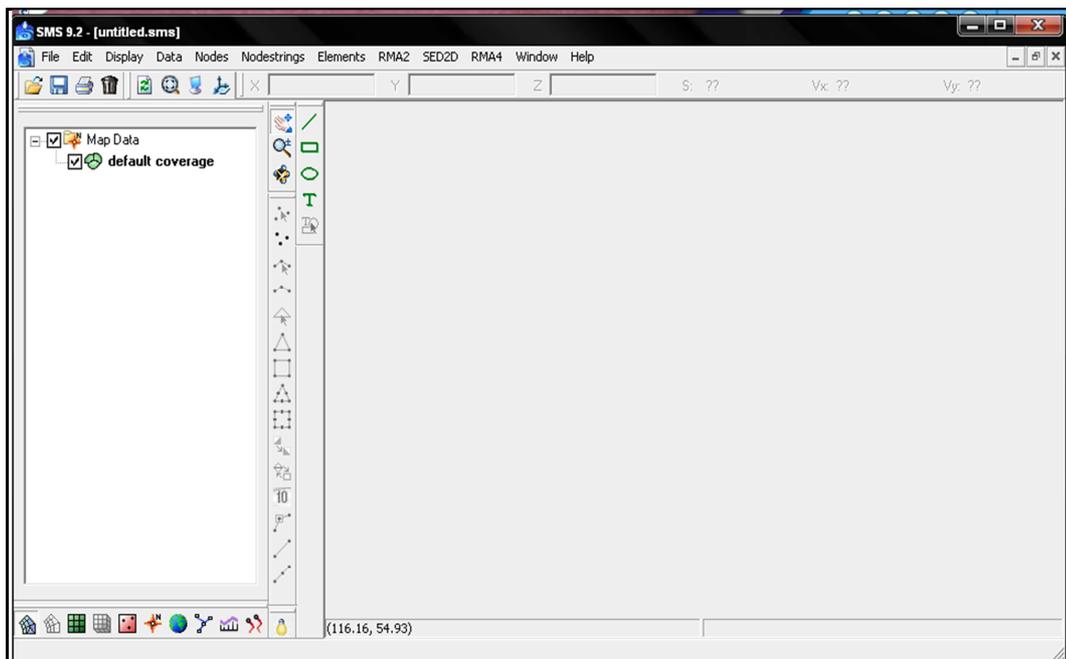


Figura 4.11 La pantalla principal del software Surface–Water Modeling System.

4.6.4.2 Formando los arcos de rasgo: por medio de la data en formato DXF se realizaran los arcos de rasgo delimitando las costas. La cobertura (*default coverage*) se usara con el método *FESWMS*.

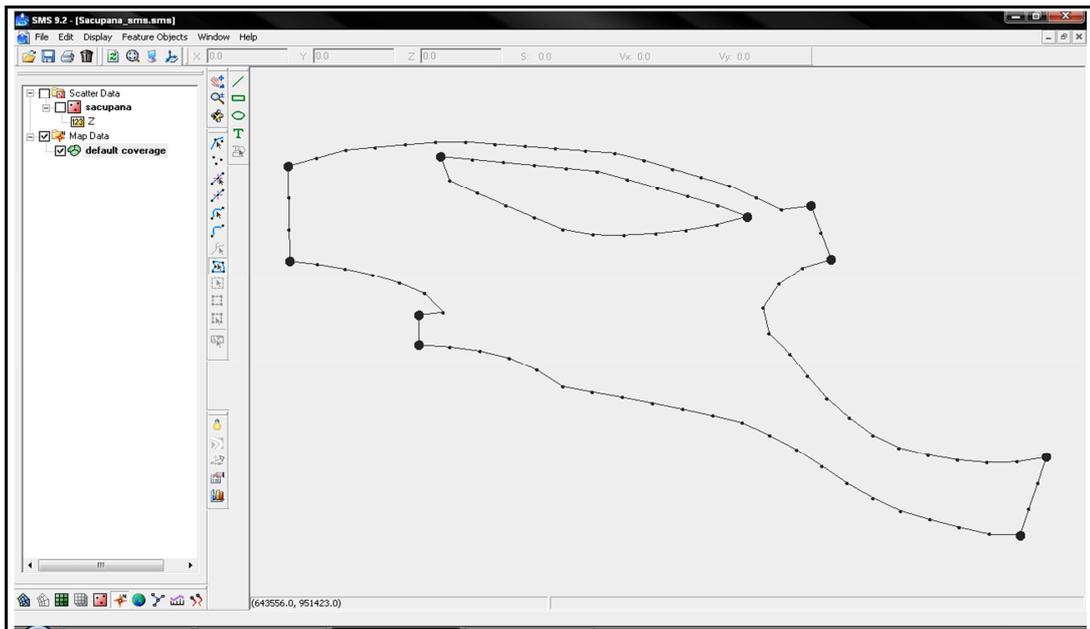


Figura 4.12 Arcos de rasgos delimitando las costas del sector Sacupana así como las entradas y salidas de caudal.

4.6.4.3 Para crear el mallado: luego de realizar los arcos de rasgo, en la barra principal se selecciona *feature objects* al desplegar el menú se elegirá la opción *build polygons*, aparentemente no ocurre nada pero se activa la herramienta *select feature polygons* así que se selecciona y dentro del tramo de estudio se presiona haciendo doble click, se desplegará una ventana en el cual 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 desplegar el menú seleccionar *map-2Dmesh*. Se refrescará la imagen como se muestra en la figura 4.13.

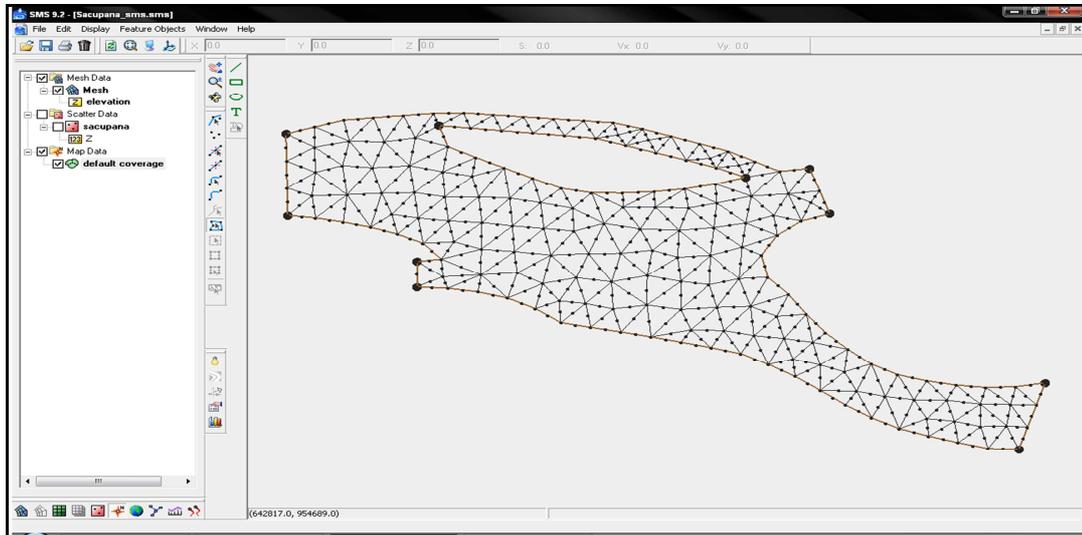


Figura 4.13 Despliegue del mallado Adaptive tessellation para el sector Sacupana.

El mallado ha sido creado para una batimetría constante, para continuar es necesario ingresar la información batimétrica en formato texto, esta data se encuentra en el modulo de dispersión pero es necesario interpolarla al mallado para hacer esto se selecciona en la barra principal *scatter* en el despliegue del menú se elige la opción *interpolate to mesh*, al abrirse el dialogo asegúrese que la interpolación sea lineal.

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

4.6.4.5 Asignando las propiedades de los materiales, En la barra principal se selecciona *FESWMS*, al desplegar el menú se elegirá la opción *material properties* y se asigna el coeficiente de rugosidad de Manning n_1 y n_2 .

Luego en la barra principal se selecciona *FESWMS* en el despliegue del menú se elige la opción *model control*.

En la pestaña general, se elegirá el tipo de corrida *hydrodynamic* y un tipo de solución *steady state*.

En la pestaña de parámetros se especificara el nivel del agua, la densidad del agua.

4.6.4.6 Para generar la solución es necesario guardar las especificaciones, para este caso se guardara como *Sacupana_out* y se procede a correr el programa seleccionando *FESWMS- run model*. Una vez culminado se desplegara la solución de forma inmediata como se muestra en la figura 4.14.

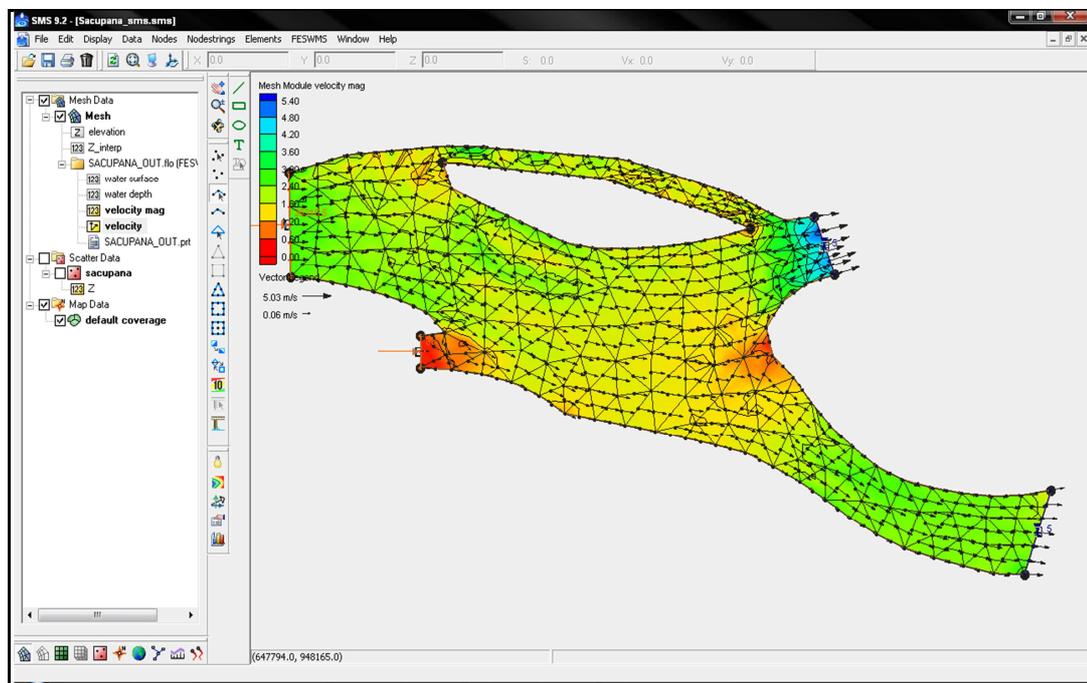


Figura 4.14 Despliegue de la solución hidrodinámica para el sector Sacupana.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Descripción morfológica del área de estudio

Con base en los levantamientos batimétricos costa a costa, del año 2001 se construyeron secciones transversales con una separación de 500 m entre cada una de ellas, en total fueron 70 secciones los cuales están distribuidas de la siguiente manera, 22 secciones en el sector Sacupana y 48 secciones en el sector Araguaito.

En el sector Araguaito se pudieron observar las siguientes características: En las secciones transversales, figuras C.1 – C.2, presentan profundidades de hasta 35 m en la zona Sur, por otra parte se observó la presencia de barras de arenas que afloran a la superficie en cada una de ellas.

En las secciones transversales, figuras C.3 y C.4, se observan que las mayores profundidades en el centro de cada sección con profundidades de hasta 15 m.

En las secciones transversales, figuras C.5 – C.7, se observa hacia la zona Sur de cada sección profundidades de 0 a 30 m.

En las secciones transversales, figuras C.8 – C.10, se aprecian las mayores profundidades en el centro de cada sección, con profundidades de 0 a 35 m, posteriormente se observa la existencia de posibles barras de arenas que afloran a la superficie.

En las secciones transversales, figuras C.11 – C.15, se puede ver la existencia de barras de arena que afloran hacia la zona Sur, por otra parte las profundidades

mayores se ubican al norte de cada sección, con profundidades de 0 a 45 m respectivamente.

En las secciones transversales, figuras, C.16 y C.18, se aprecian las mayores profundidades en el centro de cada sección las cuales van desde 0 hasta 35 m.

En las secciones transversales, figuras, C.19 – C.23, se puede identificar la presencia de posibles barras de arena que afloran a la superficie hacia el Norte de cada sección, posteriormente presentan profundidades mayores hacia al sur con valores menores a 45 m.

En las secciones transversales, figuras, C.24 – C.32, de acuerdo a las profundidades registradas podemos inferir que la mayor profundidad se encuentra hacia el Norte de cada sección con profundidades menores a 40 mts, seguidamente se puede identificar la presencia de barras de arenas que afloran hacia la superficie

En la sección transversal, figura C.33 se observa la mayor profundidad hacia el centro de la sección con una profundidad máxima de 25 m.

En las secciones transversales, figuras C.34 y C.35, se aprecia la mayor profundidad hacia el Sur con profundidades máximas de 30 m.

En las secciones transversales, figuras C.36 – C.40, de acuerdo a las profundidades registradas podemos inferir que la mayor profundidad se encuentra en el centro de cada sección, con profundidades máximas a 30 m para cada una.

En las secciones transversales, figuras C.41 y C.42, se aprecia la mayor profundidad hacia el lado Sur con valores por debajo de 40 m, seguidamente se identifican barras de arena que afloran a la superficie hacia el Norte de cada sección.

En el sector Sacupana se aprecian las siguientes características: En las secciones transversales, figuras, C.43 – C.47, se observan profundidades mayores hacia al Sur con valores cercanos a los 30 m.

En las secciones transversales, figuras C.48 – C.52, de acuerdo a las profundidades registradas podemos inferir que las mayores se encuentran en el centro de cada sección con valores cercanos a 20 m, seguidamente se puede identificar la presencia de barras de arena que afloran en la superficie hacia el Norte y Sur de cada sección.

En las secciones transversales, figuras C.53 – C.54, se pueden identificar la presencia de posibles barras de arena que pueden aflorar en la superficie en periodos de aguas bajas hacia el Norte de cada sección, posteriormente presentan profundidades mayores hacia el Sur con valores cercanos a los 20 m.

En las secciones transversales, figuras C.55 C.56 y C.57, se aprecia mayor profundidad hacia la parte Norte y Sur de cada sección con valores en un rango de 16 a 18 mts en cada sección.

En las secciones transversales, figuras C.58 – C.59, se puede identificar la presencia de posibles barras de arena que pueden aflorar en la parte Sur de cada sección, posteriormente presentan profundidades mayores hacia al Norte, con magnitudes en un rango de 18 a 20 mts.

De acuerdo a las fotografías aéreas del año 1961 al ser comparada con las fotografías aéreas del año 1985, figura C.73, que emite el Instituto Nacional de Canalizaciones, se evidencia la migración de la línea de costa hacia el centro del canal.

Posteriormente de acuerdo las imágenes satelitales del año 1992, en comparación con carta de navegación del año 1995, que emite el Instituto Nacional de Canalizaciones, se observa que ocurrió una migración de la línea de costa hacia el sur, igual sucede con las diferentes islas existentes en el canal de navegación.

Para el sector Araguaito se visualiza la bifurcación de la isla Tres Caños, formas de dunas y profundidades para todo el canal con valores de 5 a 20 metros y zonas más profundas que alcanzan valores hasta 35 metros. (Figura 5.1)

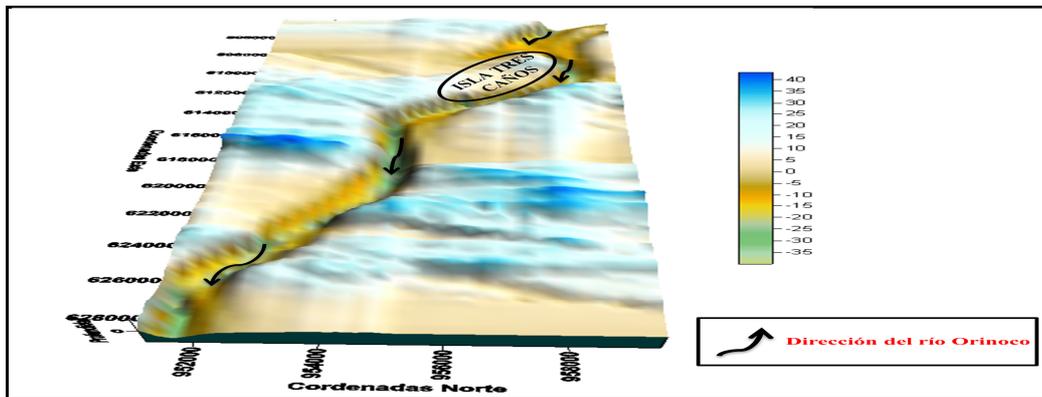


Figura 5.1 Modelo 3D del lecho sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

Para el sector Sacupana se visualizan formas del lecho de dunas. En la bifurcación de la isla Guasina, se registran profundidades en las que predominan los valores entre 5 y 15 metros y zonas más profundas (contornos de colores verdes) con valores de 25 metros. (Figura 5.2).

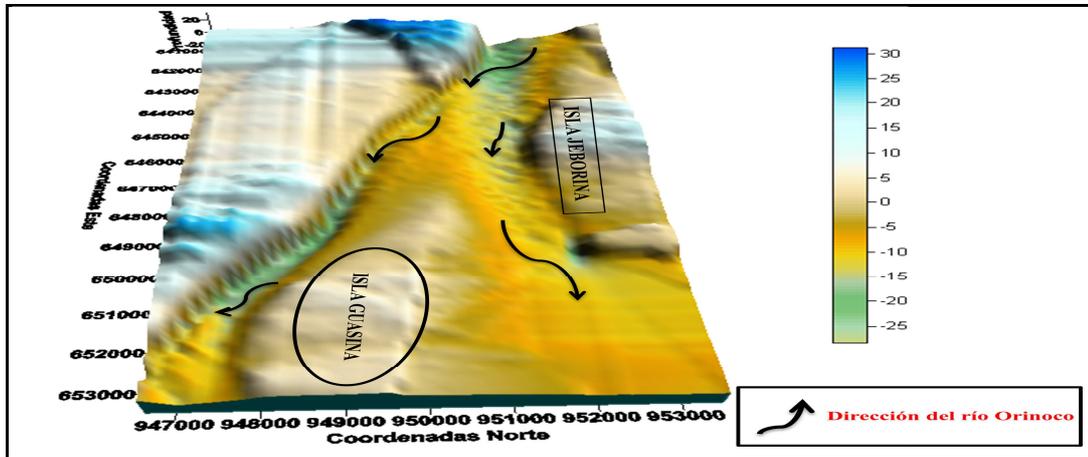


Figura 5.2 modelo 3D del lecho sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

5.2 Caracterización hidrodinámica de los sectores Araguaito y Sacupana

Partiendo de los datos suministrados por I.N.C se logró definir el comportamiento hidrodinámico del área de estudio.

5.2.1 Hidrogramas de los sectores Araguaito y Sacupana

El río experimenta significativas variaciones anuales en los niveles del agua, su ascenso paulatino se inicia a fines del mes de Marzo o comienzos del mes de Abril, alcanzando sus máximos niveles en los meses de Agosto y Septiembre.

De acuerdo a los niveles promedios, máximos y mínimos registrados desde 1943-2009 en la estación linnigráfica de Palúa, para la cual se elaboraron hidrogramas, los cuales presentaron una distribución unimodal, preservándose los picos máximos entre los meses de Julio y Septiembre. (Figura 5.3).

Podemos acotar que el nivel máximo en el sector Sacupana es de 6.20 mts y el nivel mínimo es de 0.30 mts. (Figura 5.3).

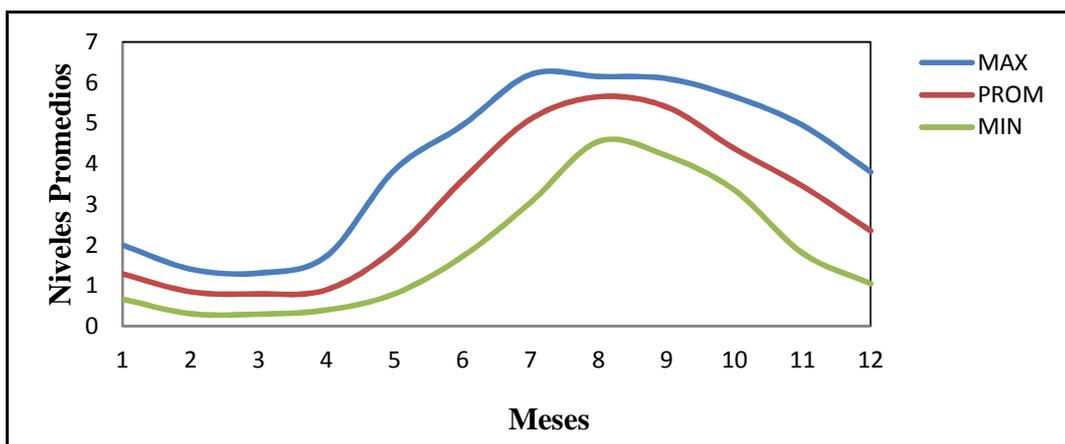


Figura 5.3 Hidrograma comparativo de los niveles Promedios Máximo y Mínimo mensuales del sector Sacupana en la milla 109.5 (1943-2009).

En cambio en el sector Araguaito podemos acotar que el nivel máximo es de 6.70 mts y el nivel mínimo es de 0.39 mts. (figura 5.4).

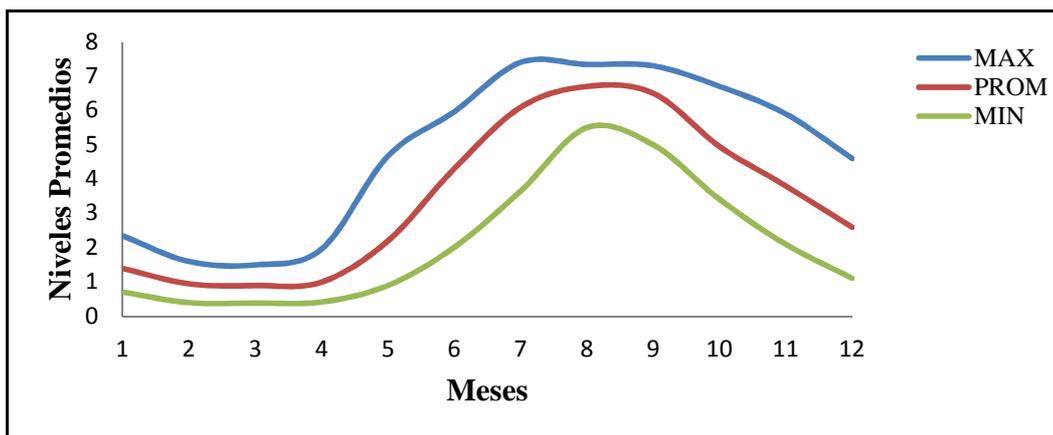


Figura 5.4 Hidrograma comparativo de los niveles Promedios Máximo y Mínimo mensuales del sector Araguaito milla 126.5 (1943-2009).

5.2.2 Correlación de Niveles del río, velocidades y caudal

Con los datos de aforo suministrados por el Departamento de Investigación se procedió a correlacionar los niveles del río, velocidades y caudal para determinar cualquiera de estas variables.

Para el sector Sacupana se tomaron los datos de aforo en la sección Jeborina Sur (tabla B.3) en la milla 110,2. Esta correlación se muestra en la figura 5.5.

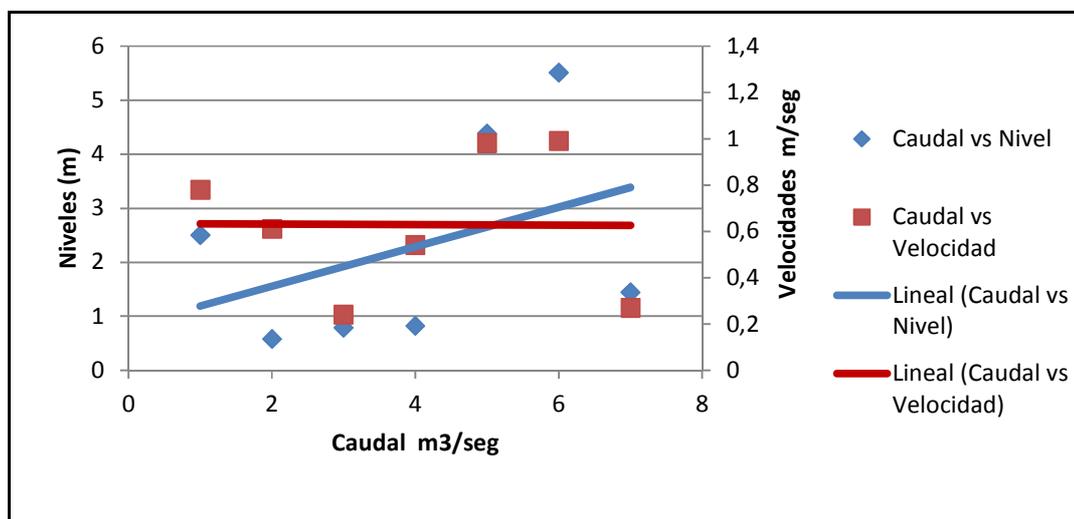


Figura 5.5 Correlación de los caudales, niveles y velocidades registradas en la sección de aforo Jeborina sur ubicada en la milla 110.2, sector Sacupana.

Para el sector Araguaito, la sección de aforo utilizada fue la de Tres Caños Norte ubicada en la milla 131,1. Los datos se encuentran en la tabla B.4 y la correlación se muestra en la figura 5.6.

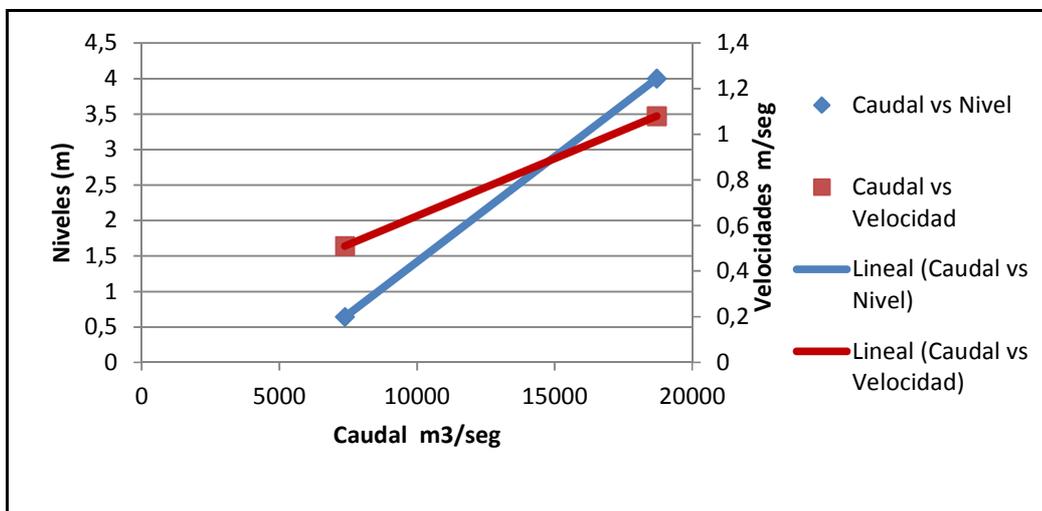


Figura 5.6 Correlación de los caudales, niveles y velocidades registradas en la sección de aforo Tres Caños Norte ubicada en la milla 131.1, sector Araguaito.

5.2.3 Pendiente hidráulica y pendiente del lecho de los sectores Araguaito y Sacupana.

Para determinar la pendiente hidráulica se utilizó la ecuación (3.1).

De acuerdo a las profundidades existente al inicio y final del sector Araguaito del plano 00DB5420 con fecha 28/07/2001, se observa que el desnivel ($h_2 - h_1$) es de 1.4 mts, con una distancia horizontal (d) de 43764.80 mts, el cual arrojó como resultado una pendiente de 0,000031729 m, tomando como referencias las estaciones TG Yaya y TG Socoroco.

Posteriormente para el sector Sacupana en el plano 00DB5415, con fecha: 27/07/2001 se observa que el desnivel ($h_2 - h_1$) es de 3.05 m, con una distancia horizontal (d) de 77875.6 mts, el cual arrojó una pendiente hidráulica de 0,000039182 m, utilizando como referencia las estaciones TG Socoroco y Domingo Pérez, Entre

las profundidades existentes se concluye que la pendiente del lecho en el sector Araguaito es de 0.0012246 m y para el sector Sacupana su valor es de 0.00029474 m.

5.2.4 Determinación del radio hidráulico

Para la determinación del radio hidráulico en el sector Araguaito se tomaron los datos del programa HEC-RAS y sustituyendo estos valores en la ecuación de radio hidráulico (3.2), arrojó el siguiente resultado: 12.219536 m. (Apéndice B.33).

De los datos obtenidos del programa HEC-RAS en el sector Sacupana y sustituyendo estos valores en la ecuación (3.2), en la que se determinó el siguiente resultado: 26.287955 m. (Apéndice B.33).

5.2.5 Coeficiente de rugosidad de Manning

Ante el desconocimiento de los materiales existentes en el lecho del río que ocupan en las secciones transversales se hace necesario estimar un coeficiente de Manning equivalente que genere una línea de pendiente hidráulica similar a la real, para ello se uso el software HEC-RAS.

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

Station: Distancia acumulada medida desde la ribera izquierda descendente.

Elevation: Lectura batimétrica.

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

Channel: Distancia desde el punto central de la sección transversal considerada a la inmediata inferior.

ROB: Distancia del margen derecho entre la sección transversal 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 Software genere una pendiente hidráulica la existente para cada sector, en el sector Araguaito el coeficiente de rugosidad (n) es de 0.042 y para el sector Sacupana es de 0.039 .

5.3 Caracterización geotécnica de los materiales del lecho del río de los sectores en estudio

De acuerdo a los datos geotécnicos suministrados por el I.N.C para los sectores Araguaito y Sacupana se logró la caracterización de los materiales del lecho.

5.3.1 Clasificación granulométrica de los materiales del lecho

El resultado arrojado por el ensayo granulométrico para las muestras tomadas en los sectores en estudio indica que estamos en presencia de un suelo pobremente gradado donde predominan los sedimentos del tipo SM, arenas limosas, mezclas de arena y limo mal gradado según el Sistema de Clasificación Unificada de suelos. (Apéndices A.1 al A.3).

5.3.2 Ángulo de fricción interna de los materiales del lecho

De los resultados obtenidos por el ensayo de corte directo nos indica que la muestra es una arena limosa debido a que el Angulo de fricción interna oscila entre los 29° - 34°, por otra parte podemos apreciar que la cohesión es nula en ambos sectores. (Apéndices A4 al A.9).

5.3.3 Forma de las partículas del lecho

En cuanto al análisis de forma, realizados a las muestras extraídas del lecho del canal de navegación del río Orinoco en los sectores Sacupana y Araguaito; éstas arrojaron resultados variables con respecto a las formas de las partículas que lo constituyen, las cuales se presentan desde subangular a subredondeado en forma predominante (figura 5.7), lo que nos ayuda a inferir que las partículas han sufrido transporte moderado. (Apéndice A.12).

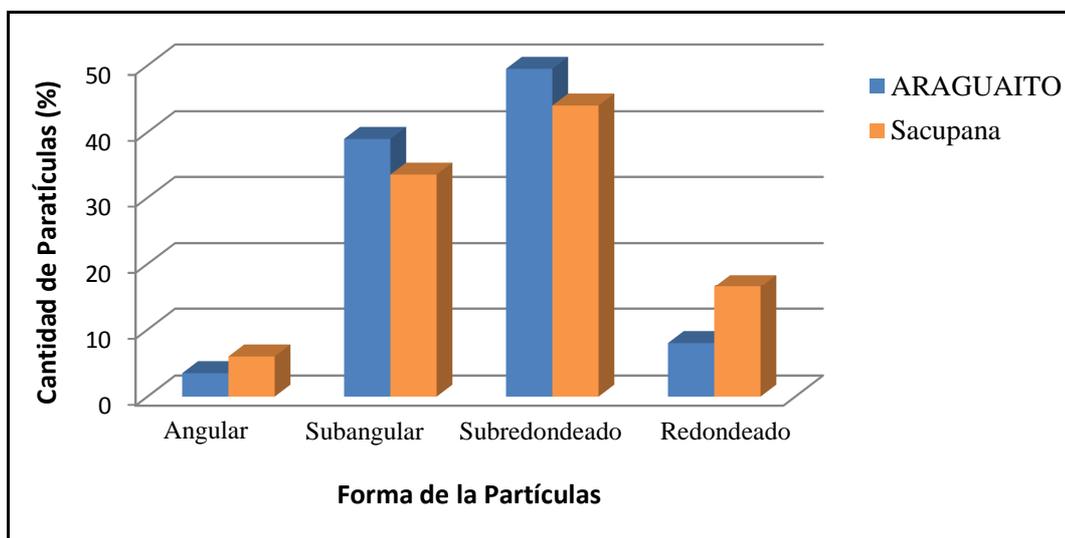


Figura 5.7 Representación del análisis de forma correspondiente a las muestras tomadas en los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

5.3.4 Mineralogía de las partículas

Finalmente los resultados arrojados por el análisis mineralógico revelan una gran diversidad de minerales pesados (hornablenda, granate, etc.), con alto porcentaje de minerales opacos (aproximadamente 89%) en la muestra extraída de los sectores en estudio. (Apéndices A.13 y A.14).

5.4 Análisis del movimiento de los sedimentos que se producen en los sectores Araguaito y Sacupana

Para el análisis del Movimiento Incipiente de los sedimentos se consideraron los siguientes modelos:

Modelo de Shields.

Modelo de Hjulstrom.

Modelo de Van Rijn.

5.4.1 Modelo de Shields

Para saber las condiciones de flujo en los sectores Araguaito y Sacupana se procedió a la utilización del modelo de Shields el cual es citado por Yang, (1996), el cual propone el momento en que las partículas sedimentarias comiencen a moverse.

Para el sector Araguaito se determinó un esfuerzo Adimensional de 2.3587969 y un Número de Reynolds de 65.798294, por lo tanto nos indica que las partículas en el sector de estudio se encuentran en movimiento y se está en presencia de una velocidad turbulenta. (Figura 5.8).

Seguidamente en el sector Sacupana se calculó un valor de esfuerzo Adimensional de 5.93492823 y posteriormente un Número de Reynolds de 2.8151, donde se infiere que las partículas en el sector de estudio se encuentran en movimiento y está en presencia de una velocidad turbulenta (Figura 5.8).

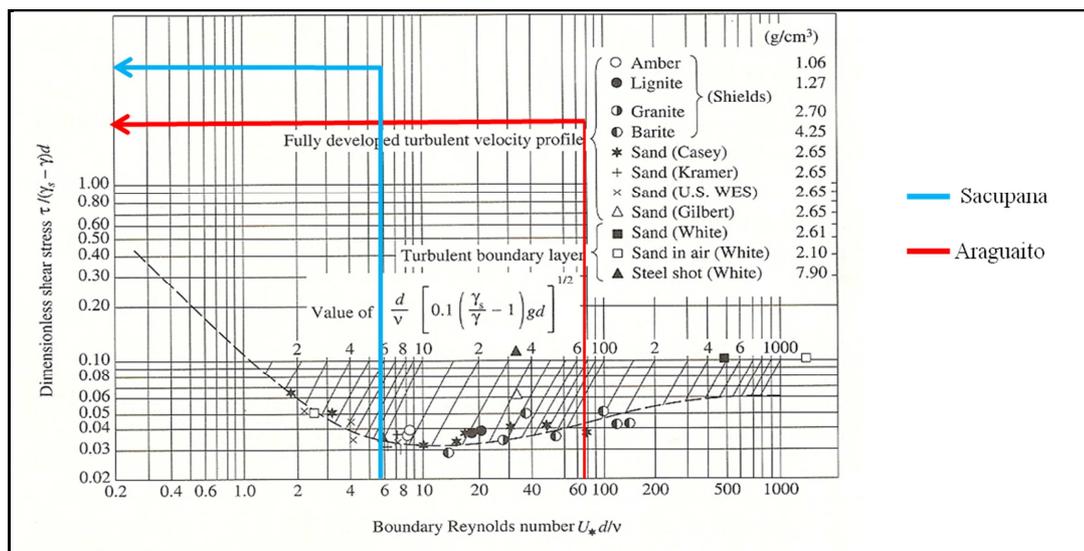


Figura 5.8 Diagrama de Shields para movimiento incipiente en los sectores Araguaito y Sacupana, (Vanoni, 1975 en Yang, 1996).

5.4.2 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 lo cual permite determinar el estado de movimiento de los sedimentos (erosión, transporte y sedimentación), fuente, Graff, W.H. Hydraulics of sediment transport, (Pravia, J. 1987)

Para las condiciones de esta investigación en el sector Araguaito posee un diámetro medio de las partículas de 0.23 mm y con una velocidad de 83 cm/s se observa que los sedimentos se encuentran en condición de erosión.

En el gráfico de Hjulstrom nos indica que para el diámetro medio de partículas presentes en el sector de estudio la velocidad mínima para que se produzca el transporte de los sedimentos es de 1.9 cm/s, la cual ocurre cuando el río alcanza un nivel de 0.038 m, por otra parte inferimos también que la velocidad necesaria para que se produzca la erosión de los materiales del lecho es de 20 cm/s (Figura 5.9).

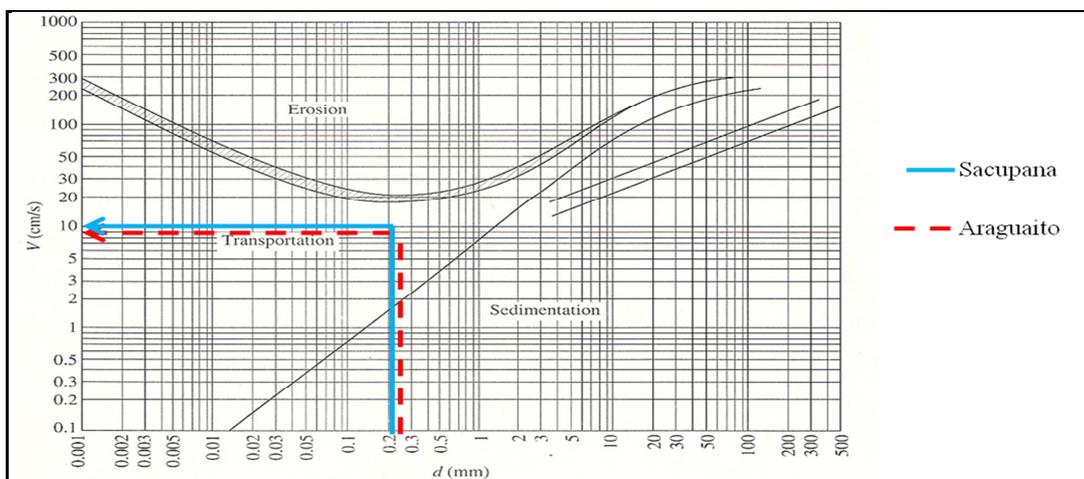


Figura 5.9 Criterio erosión – depositación para partículas uniformes en los sectores Araguaito y Sacupana (Hjulstrom, 1935 en Yang, 1996).

Para las condiciones de esta investigación en el sector Sacupana posee un diámetro medio de las partículas de 0.22 mm y con una velocidad de 99 cm/s se observa que los sedimentos se encuentran en condición de erosión, Así mismo, el gráfico de Hjulstrom nos indica que para el diámetro medio de partículas presente en el sector de estudio la velocidad mínima para que se produzca el transporte de los sedimentos es de 1.8 cm/s, la cual ocurre cuando el río alcanza un nivel de 0.080 m, por otra parte inferimos también que la velocidad necesaria para que se produzca la erosión de los materiales del lecho es de 20 cm/s.

5.4.3 Modelo Van Rijn

Según el modelo de Van Rijn, (1993) propuso que el movimiento de una partícula ocurre cuando la fuerza del fluido sobre la partícula, esta justamente a lo largo de la fuerza de fricción la cual está relacionada con el peso de la partícula sumergida y el coeficiente de fricción.

De acuerdo al parámetro crítico de Shields (θ_{cr}) (Ecuación 3.7), y los parámetros (tabla B.38) en el sector Araguaito arrojó el siguiente parámetro crítico de 1.7×10^1 en función del diámetro de las partículas de 0.23 (mm) delimita el área donde existe un régimen en suspensión, seguidamente en el sector Sacupana el parámetro crítico de Shields es de 4.3×10^0 lo cual también indica que las partículas del lecho están en suspensión. (Figura 5.8).

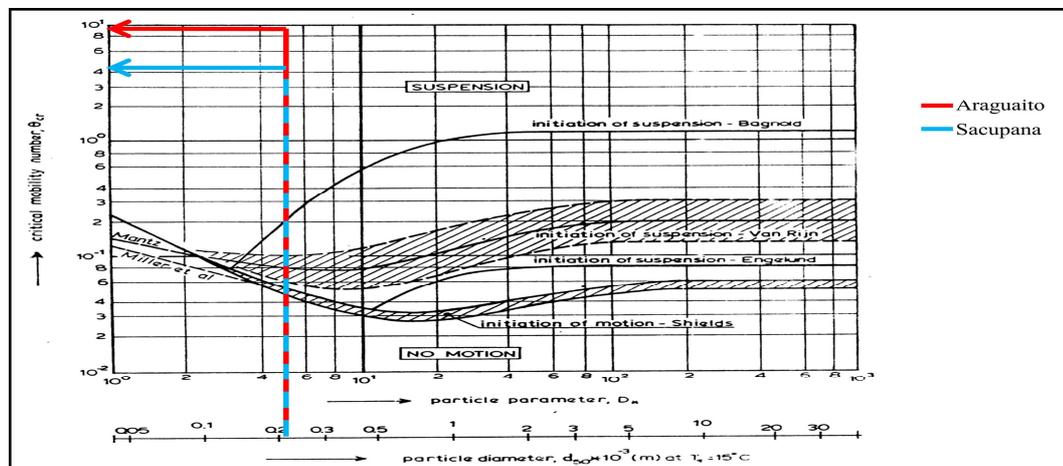


Figura 5.10 Iniciación del movimiento y suspensión de las partículas sobre el fondo del lecho de los sectores Araguaito y Sacupana (Van Rijn, 1989).

5.5 Evaluar la capacidad y ubicación de las áreas de descarga para material dragado en los Sectores Araguaito y Sacupana

Partiendo de los datos suministrados por el I.N.C se logró definir áreas de descarga de los sectores en estudio haciendo el uso, del sistema de modelaje de la superficie del agua (Surface - Water Modeling System).

5.5.1 Evaluar la capacidad y ubicación de las áreas de descarga para material dragado en el sector Araguaito

5.5.1.1 Área de descarga para material dragado N° 1

- Capacidad del área de descarga N° 1, esta área de descarga se caracteriza por tener una profundidad promedio de 12.78 metros (referido al NAB), la capacidad para los niveles de estiaje y aguas altas se presentan en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Volumen del área de descarga para material dragado para el nivel del río en estiaje y aguas altas.

Área 1	Área (m ²)	Calado (m)	Profundidad promedio (referido al NAB) (m)	Nivel (m)	Volumen (m ³)
	1135809.95	10	12.78	0.3	3498294.63
1135809.95	10	12.78	6.2	10199573.3	

En la figura 5.11 se graficaron los niveles del río para aguas altas y estiaje con respecto al volumen.

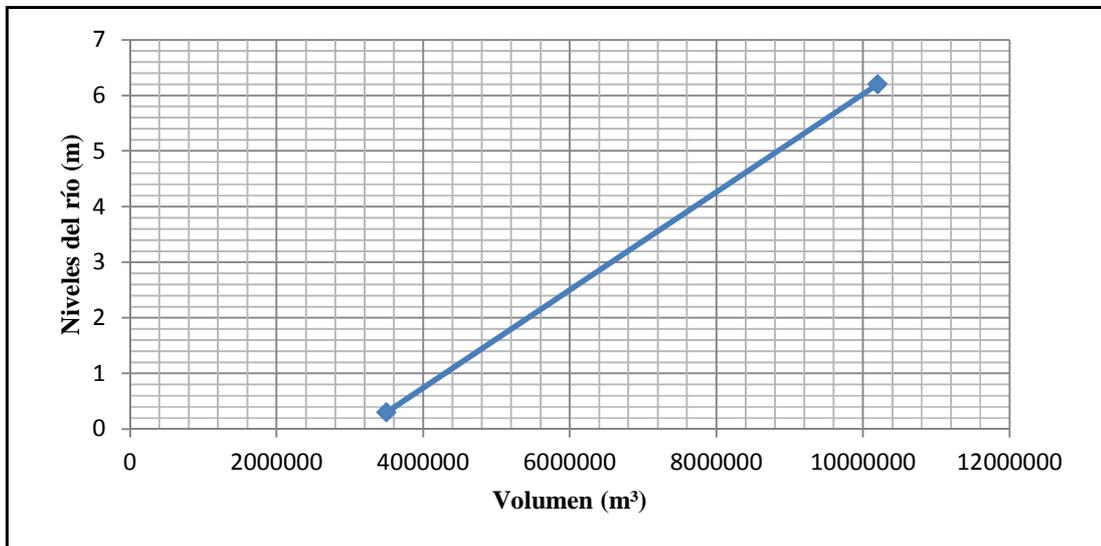


Figura 5.11 Variación del volumen del área de descarga en función de los niveles del río.

- Ubicación, el área de descarga N^o 1 para el sector Araguaito se encuentra ubicada entre las millas 132,50 a la 131,80. La distancia del área de descarga al canal dragado es de 1115.92 metros. con las siguientes coordenadas:

Tabla 5.2 Coordenadas Norte y Este del área de descarga para material dragado 1 en el sector Araguaito.

Este	Norte
607451	957479
607468	957011
608160	957507
608183	957021

- Velocidades de corriente, en el mapa de patrones de flujo y velocidades de corriente generado por el programa SMS, en el cual se delimitó el área de

descarga N° 1, las velocidades para esta zona oscilan dentro de un rango de 0.85 m/s hasta 1.06 m/s. disminuyendo hacia la bifurcación en la isla Tres Caños. Por otra parte en el análisis del movimiento incipiente para el modelo de Hjulstrom, las partículas inician el transporte a una velocidad de 0.019 m/s, y para que ocurra la erosión es necesario que las velocidades alcancen valores mayores o iguales a los 0.2 m/s, las velocidades estimadas por SMS sobrepasan lo estimado por los criterios de movimiento incipiente por lo cual se infiere que el área de descarga presenta condición de auto limpieza. (Figura 5.12).

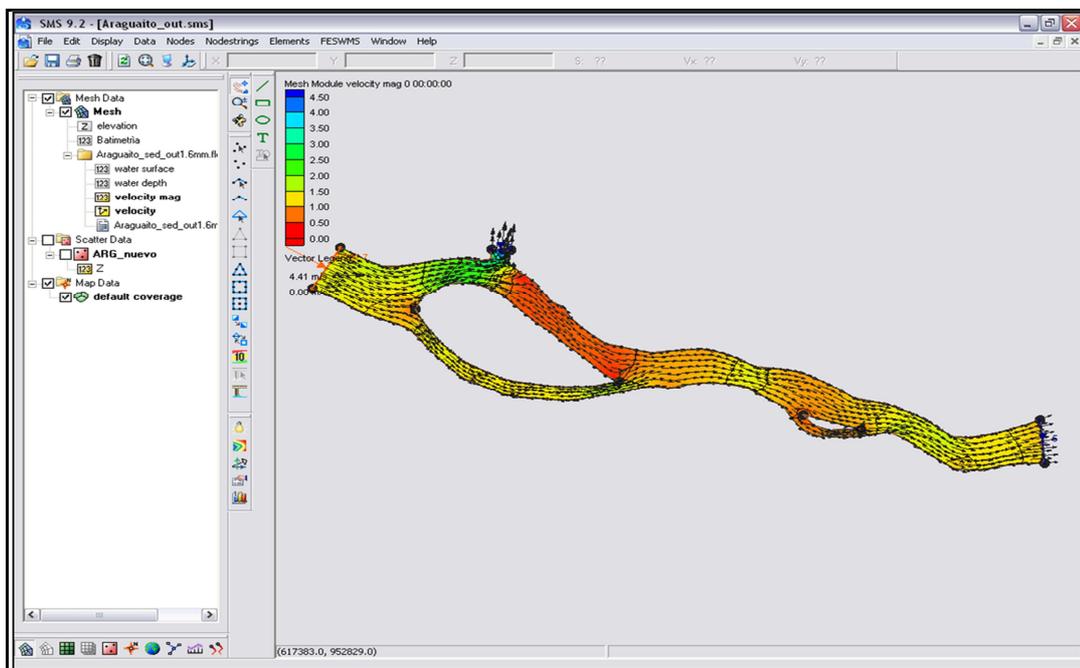


Figura 5.12 Mapa de contornos de velocidad de corriente generado por el software SMS, del sector Araguaito, indicando el área de descarga N° 1.

5.5.1.2 Área de descarga para material dragado N° 2:

- Capacidad del área de descarga N° 2, La profundidad promedio es de 17.42 metros (referido al NAB), la capacidad disponible de esta área para el nivel de estiaje y de aguas altas se presenta en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Volumen del área de descarga para material dragado para los niveles del río en estiaje y aguas altas.

	Área (m ²)	Calado	Profundidad Promedio (referido al NAB) (m)	Nivel	Volumen (m ³)
Área 2	425546.044	10	17.42	0.3	3285215.5
	425546.044	10	17.42	6.2	5795937.1

En la figura 5.13 que se muestra a continuación se presenta de manera gráfica la relación del nivel del agua en el río con respecto al volumen disponible para esa zona.

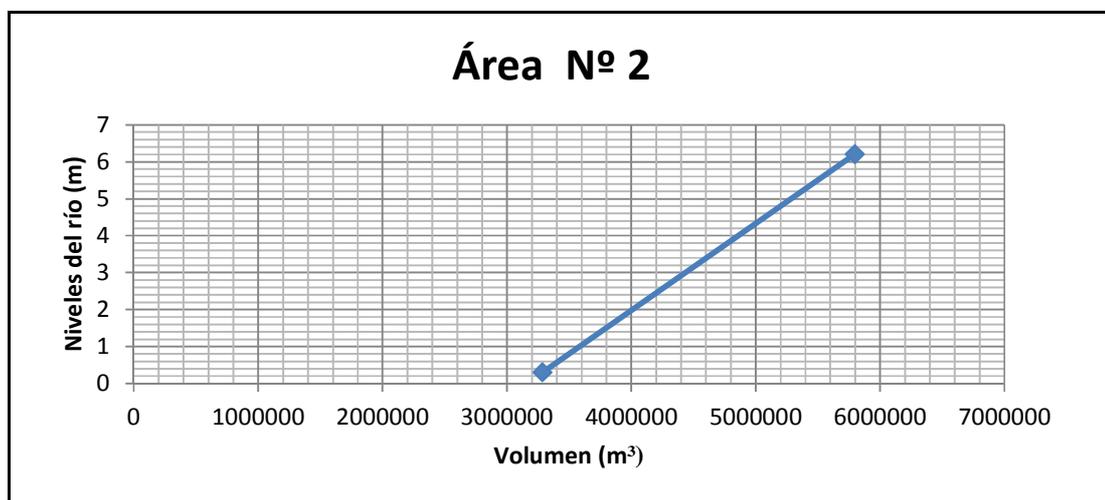


Figura 5.13 Variación del volumen del área de descarga en función de los niveles del río.

- El área de descarga N° 2 para material dragado se encuentra ubicada en las coordenadas (tabla 5.4). La distancia del canal dragado al sitio descarga de la draga es de 3388.01 metros.

Tabla 5.4 Coordenadas Norte y Este del área de descarga N° 2 para material dragado en el sector Araguaito.

Este	Norte
606484	958176
607193	957800
606947	957337
606212	957751

- Las velocidades de corriente en el área N° 2 oscilan desde 1.17 m/s hasta 1.08 m/s, de acuerdo al modelo de movimiento de partículas según Hjulstrom estas velocidades permiten que el sedimento se encuentre en un proceso de erosión.

La presencia de profundidades desde 17 hasta 29 metros a lo largo del sector Araguaito y velocidades entre 1.25 y 2.75 m/s los cuales son valores aceptables para delimitar nuevas áreas, sin embargo aún cuando existe suficiente profundidad y velocidad de flujo erosiva no cualifica como zona de descarga sugerida por tratarse del canal de navegación.

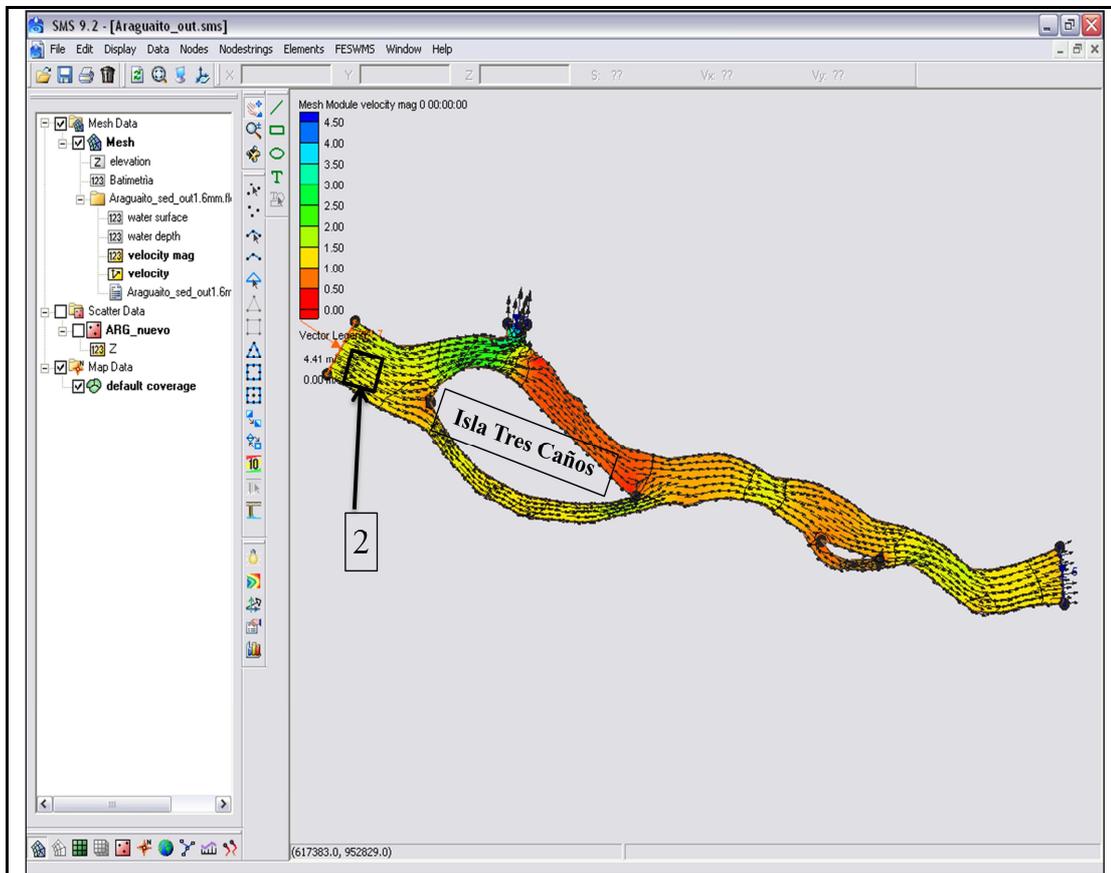


Figura 5.14 Mapa de contornos de velocidades de corriente para el sector Araguaito, indicando el área de descarga N° 2.

5.5.2. Evaluar la capacidad y ubicación de las áreas de descarga para material dragado en el sector Sacupana

5.5.2.1 Área de descarga para material dragado N° 1:

- Capacidad del área de descarga N°1, La profundidad promedio (referido al NAB) es de 14.65m. la capacidad volumétrica de esta zona considerando el nivel máximo en aguas altas y el nivel de estiaje se muestran en la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Volumen del área de descarga para material dragado para el nivel del río en estiaje y aguas altas.

Área 1	Área (m ²)	Calado (m)	Profundidad promedio (m)	Nivel (m)	Volumen (m ³)
	480862.65	10	14.65	0.39	2423547.8
	480862.65	10	14.65	6.7	5457791.1

En la figura 5.15 se muestra de manera gráfica la relación nivel del río con respecto al volumen de las áreas de descarga para el material dragado.

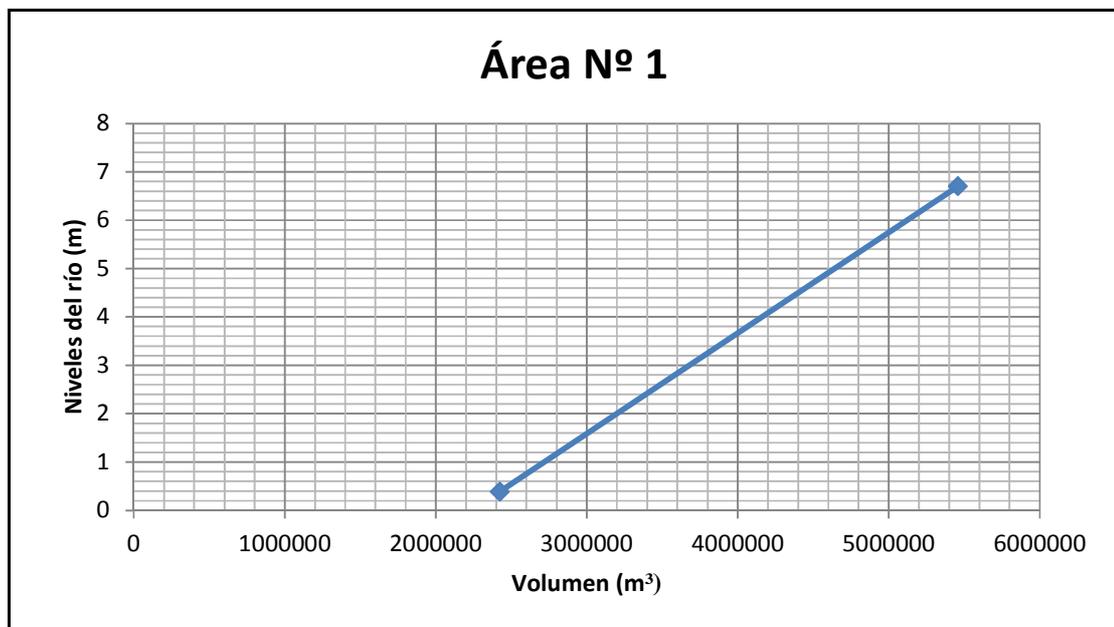


Figura 5.15 Variación del volumen del área de descarga en función de los niveles del río.

- Ubicación, el área de descarga N°1 para material dragado se encuentra ubicada entre las millas 110,80 a la 111,50. Con una distancia al canal dragado de 3388,01 metros. Presenta las siguientes coordenadas

Tabla 5.6 Coordenadas Norte y Este del área de descarga para material dragado 2 del sector Sacupana.

Este	Norte
643389	951636
643389	951163
644378	951636
644350	951121

- Las velocidades de corriente, de acuerdo a la solución hidrodinámica generada por el software SMS, el área de descarga N°1 presentan velocidades que oscilan entre 1.67 m/s y 2.09 m/s. En la figura 5.16 se presenta el mapa de velocidades generado por SMS, en el cual se muestra delimitada el área de descarga N°1.

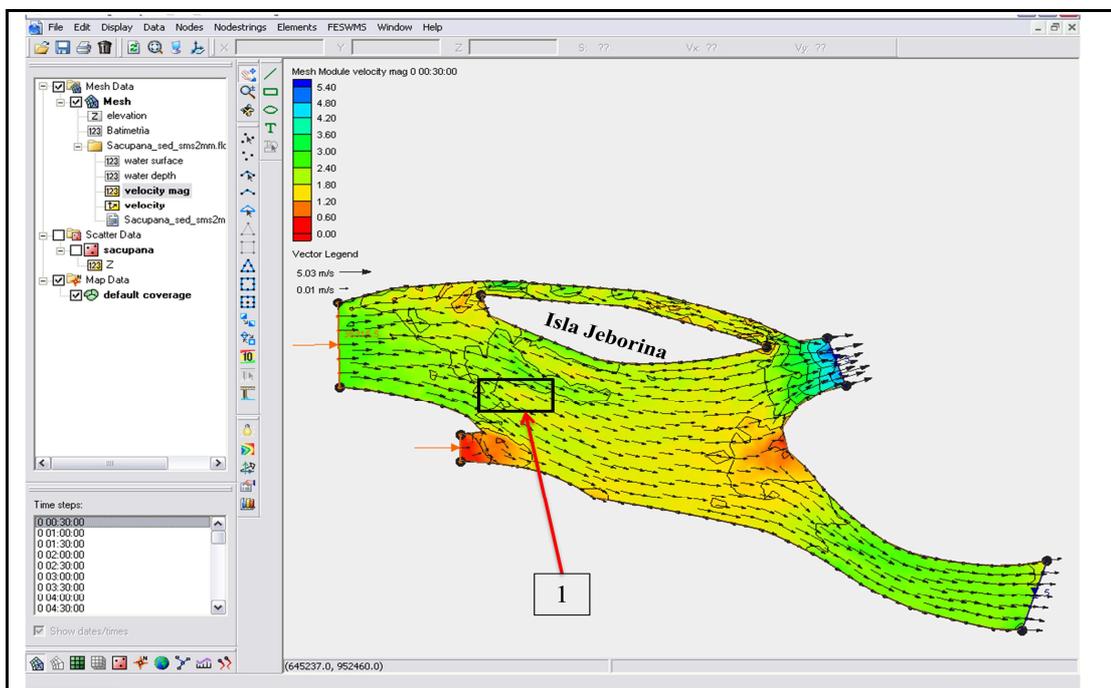


Figura 5.16 Mapa de contornos de velocidad de corriente para el sector Sacupana, indicando el área de descarga N° 1.

Por otra parte de los resultados obtenidos en los análisis de movimiento de las partículas según el modelo de Hjulstrom empiezan su transporte a una velocidad de 0.018 m/s, y para que ocurra la erosión es necesario que las velocidades alcancen valores mayores o iguales a los 0.2 m/s, por lo tanto se infiere que dicha zona está en condiciones erosivas.

5.5.2.2 Área de descarga N° 2 para material dragado:

- Capacidad del área de descarga, La profundidad promedio (referido al NAB) es de 12.26 metros, la capacidad volumétrica en esta zona considerando el nivel de estiaje y el nivel de aguas altas se muestran en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 Volumen del área de descarga para material dragado para el nivel del río en estiaje y aguas altas.

	Área (m ²)	Calado (m)	Profundidad promedio (m)	Nivel (m)	Volumen (m ³)
Área 2	1094849.43	10	12.26	0.39	2901351
	1094849.43	10	12.26	6.7	9809850.9

En la Figura 5.17 se relacionaron los niveles del río con respecto al volumen dragado.

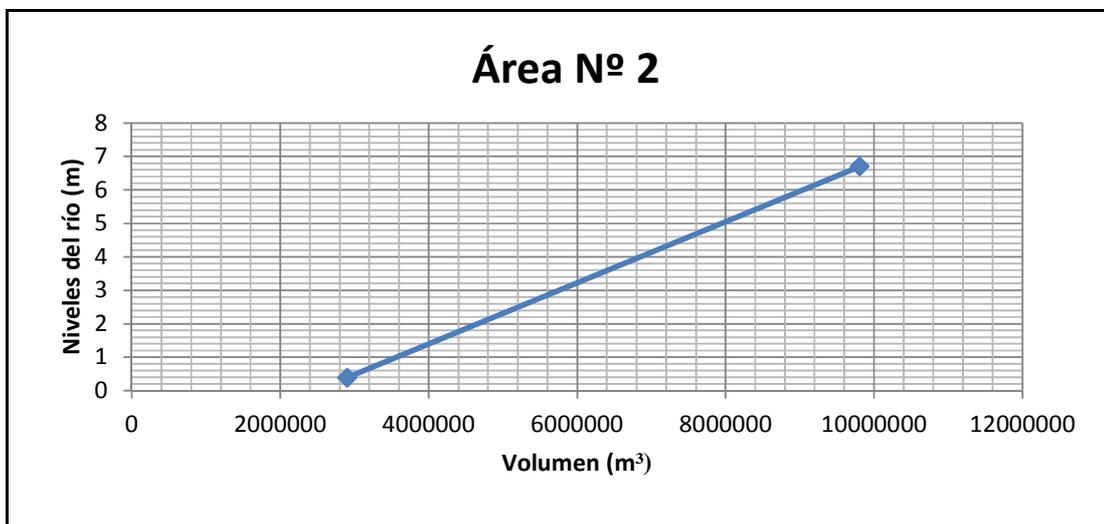


Figura 5.17 Relación del volumen respecto a los niveles del río en el área de descarga N°2 para material dragado del sector Sacupana.

- Ubicación, el área de descarga N°2 para material dragado en el sector Sacupana está a una distancia del canal dragado de 1944.51 metros y se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas

Tabla 5.8 Coordenadas Norte y Este del área de descarga para material dragado N°2 del Sector Sacupana.

Este	Norte
644485	951199
645851	951654
646292	950971
644869	950573

- Las velocidades de corriente oscilan entre los valores de 2.15 a 1.58 m/s influenciados por la bifurcación en la isla Guasina las corrientes toman una dirección hacia la parte Norte de dicha isla como se muestra en la figura 5.18,

esta dirección de las corrientes es idónea, ya que no afecta al canal de navegación dirigiendo las partículas sedimentarias hacia la parte Norte de la isla Guasina. Por otra parte al comparar los resultados del análisis de movimiento de partículas (modelo de Hjulstrom) y las velocidades generadas por el Software permite deducir que el sedimento se encuentra en un proceso de erosión.

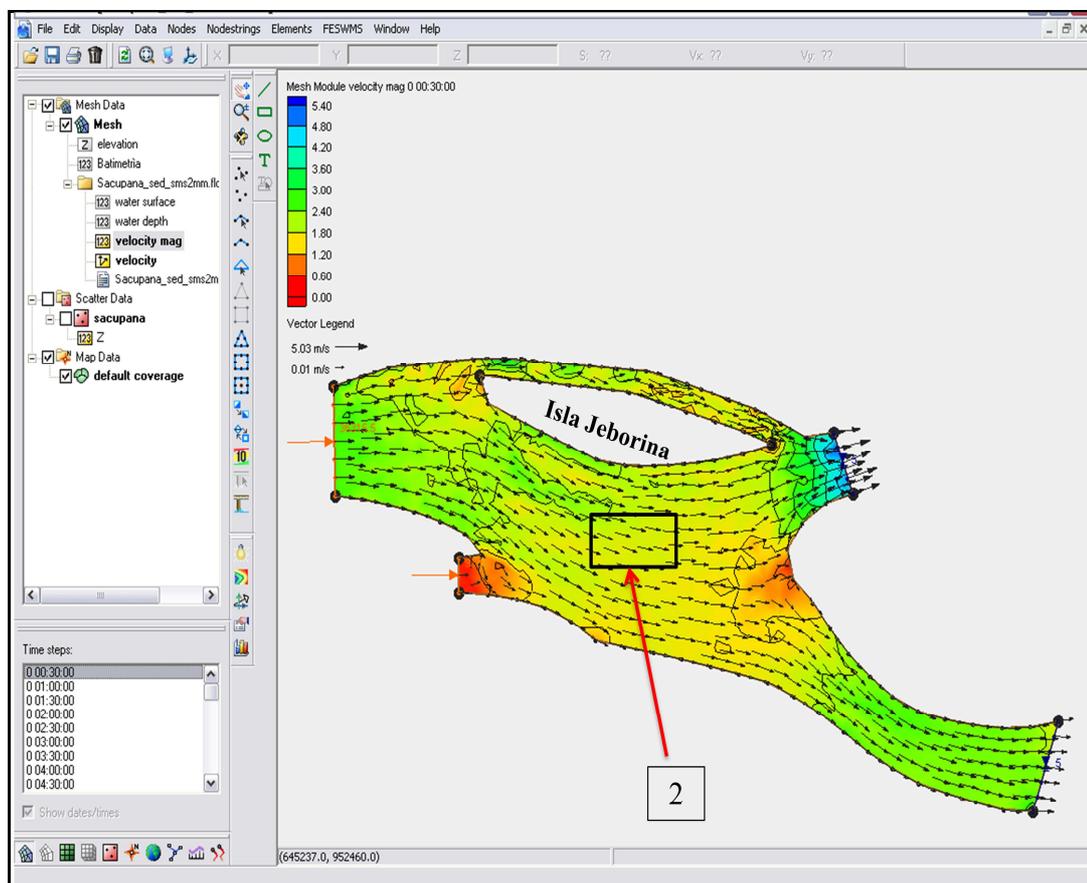


Figura 5.18 Mapa de contornos de velocidades de corriente para el sector Sacupana, indicando el área de descarga N° 2.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se llegó a las siguientes conclusiones.

De acuerdo a las secciones transversales y los modelos 3D, en el sector Araguaito nos indican que las mayores profundidades se ubican en el centro y margen Sur del sector en estudio.

En cambio en el sector Sacupana de acuerdo a las secciones transversales y modelos 3D del lecho nos indica que las mayores profundidades se ubican en los lados Norte y Sur del sector en estudio.

Al efectuar la comparación entre las fotografías del año 1961 y la base cartográfica año 1995 se evidencia una tendencia migratoria de la línea de costa en sentido centro y sur del canal de navegación del río Orinoco.

En el hidrograma de niveles del sector Sacupana se observan oscilaciones de la altura del río entre 6.20 m en aguas altas y 0.30 en estiaje. Así como en el hidrograma para el sector Araguaito se observa nivel máximo para el mes Julio y mínimo en el mes de Marzo de 7.40 m y 0.39 m respectivamente.

El comportamiento hidrológico del río Orinoco ha manifestado un rendimiento líquido aproximado, en la milla 110,02 del sector Sacupana un caudal que varía entre 6709,40 m³/seg hasta 41712,221 m³/seg aproximadamente presentando velocidades de corriente de hasta 0,99 m/seg durante el período de aguas altas, en cambio en la

milla 124,6 sector Araguaito se obtuvo un gasto líquido que varía entre 6105,76 m³/seg entre 16609,26 m³/seg aproximadamente con velocidades de corriente correspondiente entre 0,31 m/seg hasta 0,69 m/seg respectivamente.

El sector Araguaito presenta una pendiente hidráulica de 0,000031729, y una pendiente de lecho de 0.00122466. Igualmente para el sector Sacupana posee una pendiente hidráulica y pendiente del lecho de 0,000039182, y 0.00029474, lo que indica la cercanía de la zona deltaica al área de estudio.

A través del uso de un modelo matemático unidimensional de flujo permanente como el Software HEC RAS, el cual arrojó un coeficiente de Mannign de 0.042 respectivamente.

Según el Sistema de Clasificación Unificada de suelos (Bowles, J. 1981) estamos en presencia de un suelo de tipo SM, así mismo el ángulo de fricción obtenido nos indica que la muestra es una arena limosa. Por otra parte las formas predominantes en relación con la geometría de los granos son subangular y subredondeado. Finalmente los resultados arrojados por el análisis mineralógico revelan una gran diversidad de minerales con alto porcentaje de minerales opacos (aproximadamente 89%)

Para los sectores Araguaito y Sacupana se determinó que las partículas del lecho se encuentran en movimiento y están en presencia de una velocidad turbulenta de acuerdo el modelo matemático de Shields de movimiento incipiente de la partícula.

Por otra parte a través del modelo de Hjustrom se determinó que en el sector Araguaito la velocidad mínima que se necesita para que se produzca el transporte es de 1.9 cm/s, esto ocurre cuando el río alcanza un nivel de 0.038 m. en cambio en el

sector Sacupana la velocidad mínima que se requiere para que se produzca el transporte de los sedimentos es de 1.8 cm/s, el cual ocurre cuando el río alcanza un nivel de 0.080 m.

De acuerdo al modelo Van Rijn se determinó que las partículas del lecho de los sectores en estudio se encuentran en suspensión para las condiciones dadas en esta investigación.

Por medio de la solución hidrodinámica generada por el software SMS y considerando los parámetros establecidos en el planteamiento del problema en el sector Araguaito el área de descarga N° 1, se encuentra en condiciones óptimas para ser utilizada como una zona para la descarga del material dragado.

El área de descarga N° 2 para el sector Araguaito se descarta por encontrarse ubicada en la alineación del canal natural de este sector.

Para el sector Sacupana tanto el área N° 1 como el área N° 2, son zonas de descarga para material dragado admisibles de acuerdo a las condiciones de capacidad y ubicación registradas en ambas.

Recomendaciones

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 densa.

Hacer levantamientos batimétricos en cada uno de los períodos en aguas bajas, aguas medias ascendentes y descendentes, y aguas altas.

El Departamento de Investigación deberá realizar un sistema de modelaje de la superficie del agua y el movimiento de sedimento, para cada uno de los períodos del ciclo hidrológico del río.

El Laboratorio de Suelo del I.N.C debe caracterizar geotécnicamente el material dragado, para obtener información del tamaño de las partículas sedimentarias que son extraídas del canal de navegación.

REFERENCIAS

Bagnold, R. (1966). **AN APPROACH TO SEDIMENT TRANSPORT PROBLEM FROM GENERAL PHYSICS.** USGS Professional Paper. Washington, D.C. United States Of America. pp. 51– 57.

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

Bermúdez, G. (1990). **DETERMINACIÓN DE LA TASA DE SEDIMENTACIÓN EN EL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO.** Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz. Pp 4, 5 y 6.

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

Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G.) Técnica Minera C.A., (1989). **INFORME DE AVANCE NC 20 – 14 Y NC20 – 15, CLIMA, GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, SUELOS Y VEGETACION TOMO I, II, III.** Ciudad Bolívar, Venezuela. pp. 185-203, 441-444, 453 – 461.

Cázares, Laura (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.

Chasten, M., J. Rosati y J. McCormick. (1993). **ENGINEERING DESIGN GUIDANCE FOR DETACHED BREAKWATERS AS SHORELINE STABILIZATION STRUCTURES.** Washington, D.C. United States Of America. pp. 141.

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

Consultora Ingeniería Caura. (1994). **ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL DRAGADO DEL RÍO ORINOCO, TRAMO MATANZAS – BOCA GRANDE**. pp. 22 – 31.

Dankhe. Metodología de Investigación 25 de Noviembre de 2010 (<http://tgrajales.net/investigpos>. Pdf.)

Gonzales de Juana (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLIFERAS. TOMO I**. Ediciones Fonives pp 24 – 33.

Hjulström, F., 1956. **STUDIES IN THE MORPHOLOGICAL ACTIVITY OF RIVERS AS ILLUSTRATED 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 (I.N.C) (2003). **DERROTERO PARA LA NAVEGACIÓN EN EL CANAL DEL RÍO ORINOCO TRAMO MATANZAS – BOCAS GRANDE**. Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela. pp. 80 – 125.

López, B. (1990). **ESTUDIO GEOMORFOLOGICO E HIDRODINÁMICO DE LOS SECTORES ARAGUITO, SACUPANA Y GUASINA DEL CANAL DE NAVEGACION DEL RIO ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO**. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp. 180-203, 439-444, 449 – 461.

Marcucci, L (1974). **ESTUDIO ESTADISTICO DE DRAGADO EN EL RIO ORINOCO**. pp 288, 295.

Mendoza, Vicente. (2000). **EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA** pp 22.

Pérez Hernández, David y López, José., (1998). **PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS Y ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS EN EL RÍO ORINOCO**. Publicado en: Las memorias de la I ras jornadas venezolanas de investigación sobre el Río Orinoco, del 16 al 20 de noviembre tituladas: “El Río Orinoco aprovechamiento sustentable”, del 16 al 20 de noviembre tituladas: “El Río Orinoco aprovechamiento sustentable”. Impresos en Caracas, Venezuela por Graficas León SRL. pp 142, 149 – 151.

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.

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

Shields, A. (1984). **ANWENDUNG DER AENLICHKEITSMECHANIK UND DER TURBULENZFORSCHUNG AUF DIE GESCHIEBEBEWEGUNG**. Mitteilungen der Prevsischen Versuchsanstalt fur Wasserbau und Schiffbau. Berlin, Alemania, traducido al Ingles por W.P Ott Y J.C. van Uchelen, California Institute of Technology, Pasadena, California, United States Of America. pp. 192-197.

Tippets – Abbett – 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.

Yalin, M. (1976). **MECHANICS OF SEDIMENT TRANSPORT**. Editorial Pergamon Press. Oxford, United States Of America. pp. 74.

León, Alberto. (2006). **EL ORINOCO APROVECHADO Y RECORRIDO**. 14 de Octubre 2006, http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Cuenca_del_Orinoco.png.

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 Utrech. Department of Physical Geography pp 4.1

<http://www.aquaveo.com/sms> esta página fue modificada el 27 de Octubre 2009 a las 22:42.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/> esta página fue modificada por última vez el 1 de Octubre 2008, a las 20:12.

APÉNDICES

Apéndice A
Análisis de Laboratorio

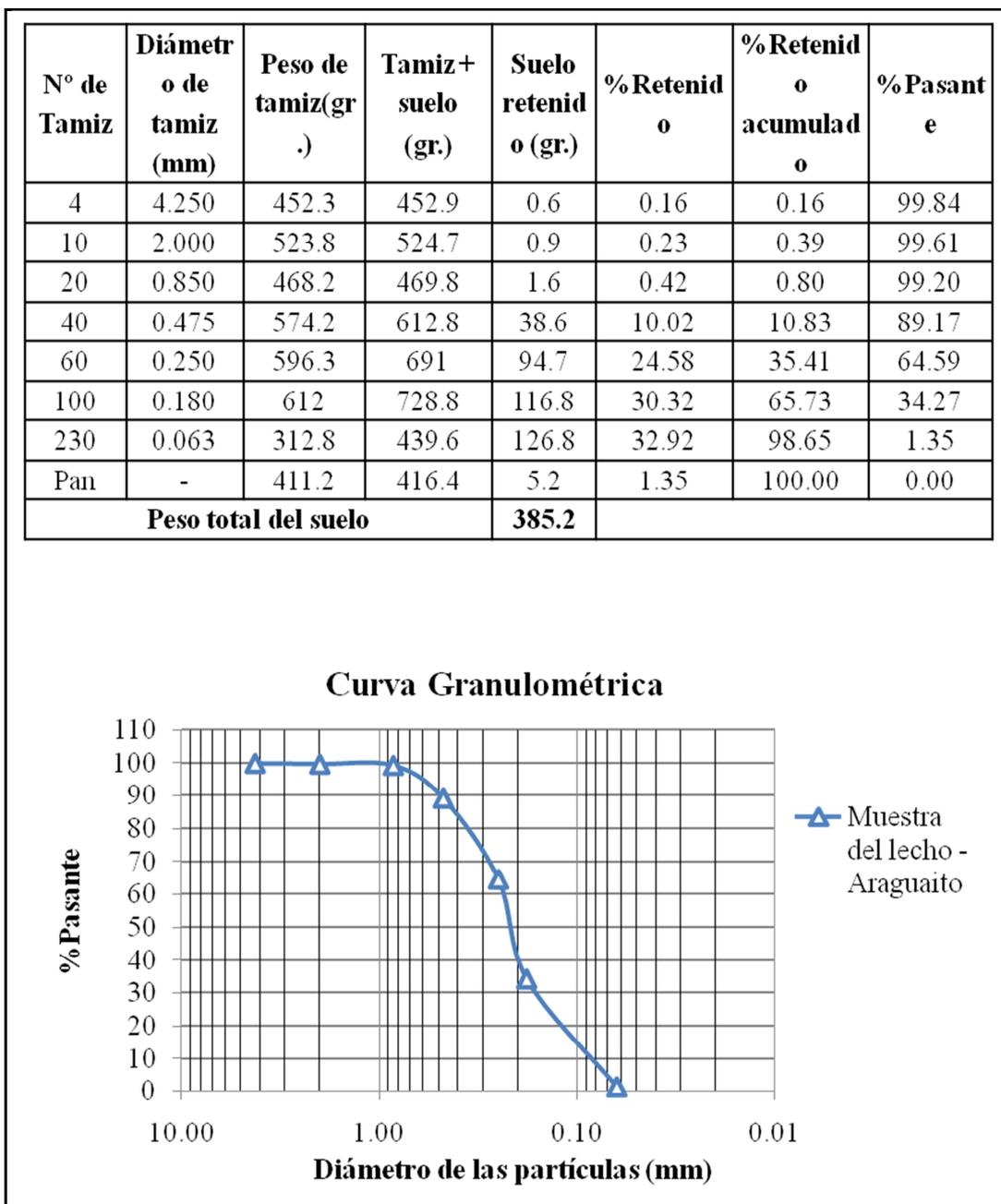


Figura A.1 Curva granulométrica de las muestras tomadas del lecho milla 131.5, del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

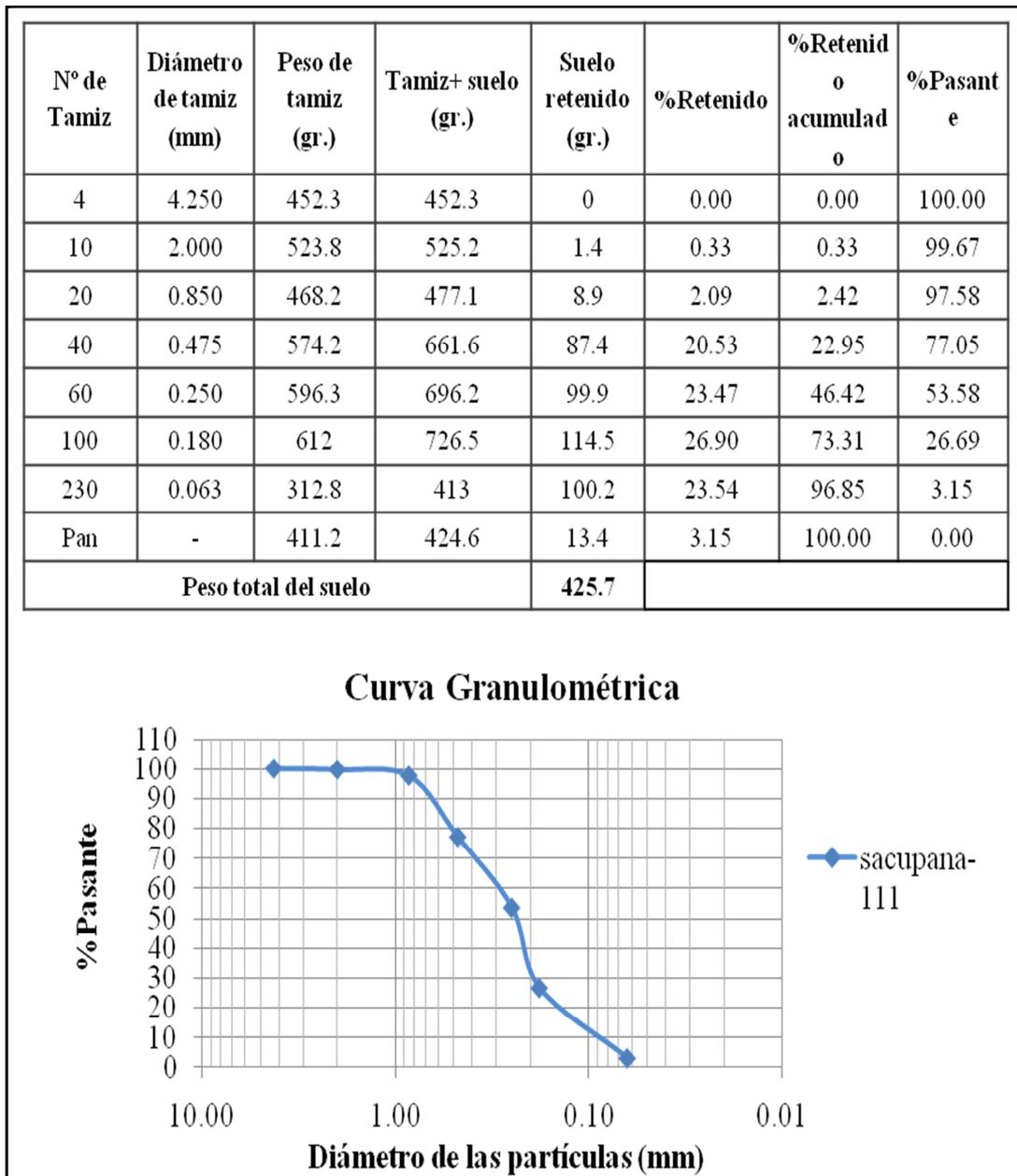


Figura A.2 Curva granulométrica de la muestra tomada en la milla 111 del sector, Sacupana tomado del canal de navegación del río Orinoco.

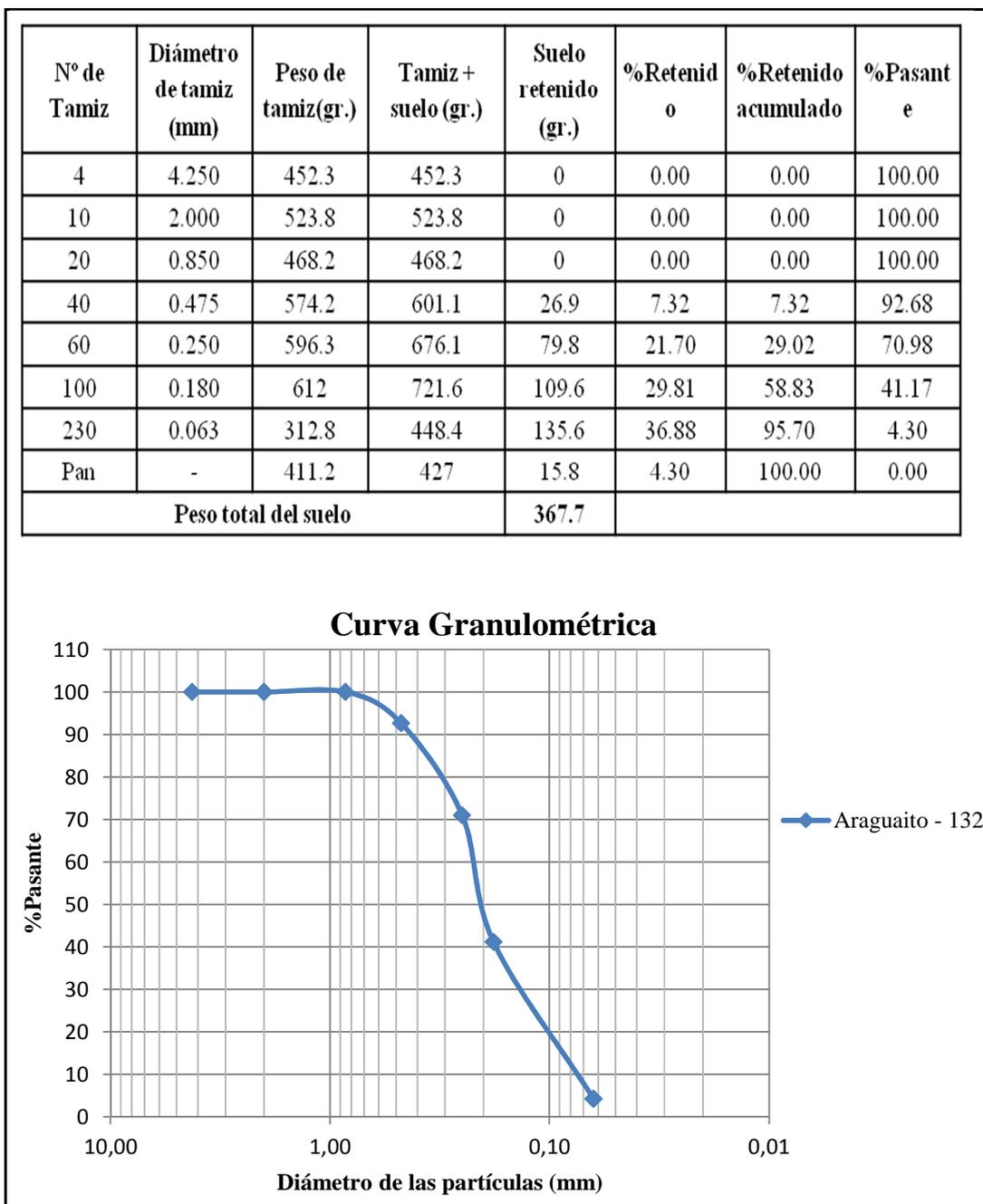


Figura A.3 Curva granulométrica de la muestra tomada en la milla 132 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

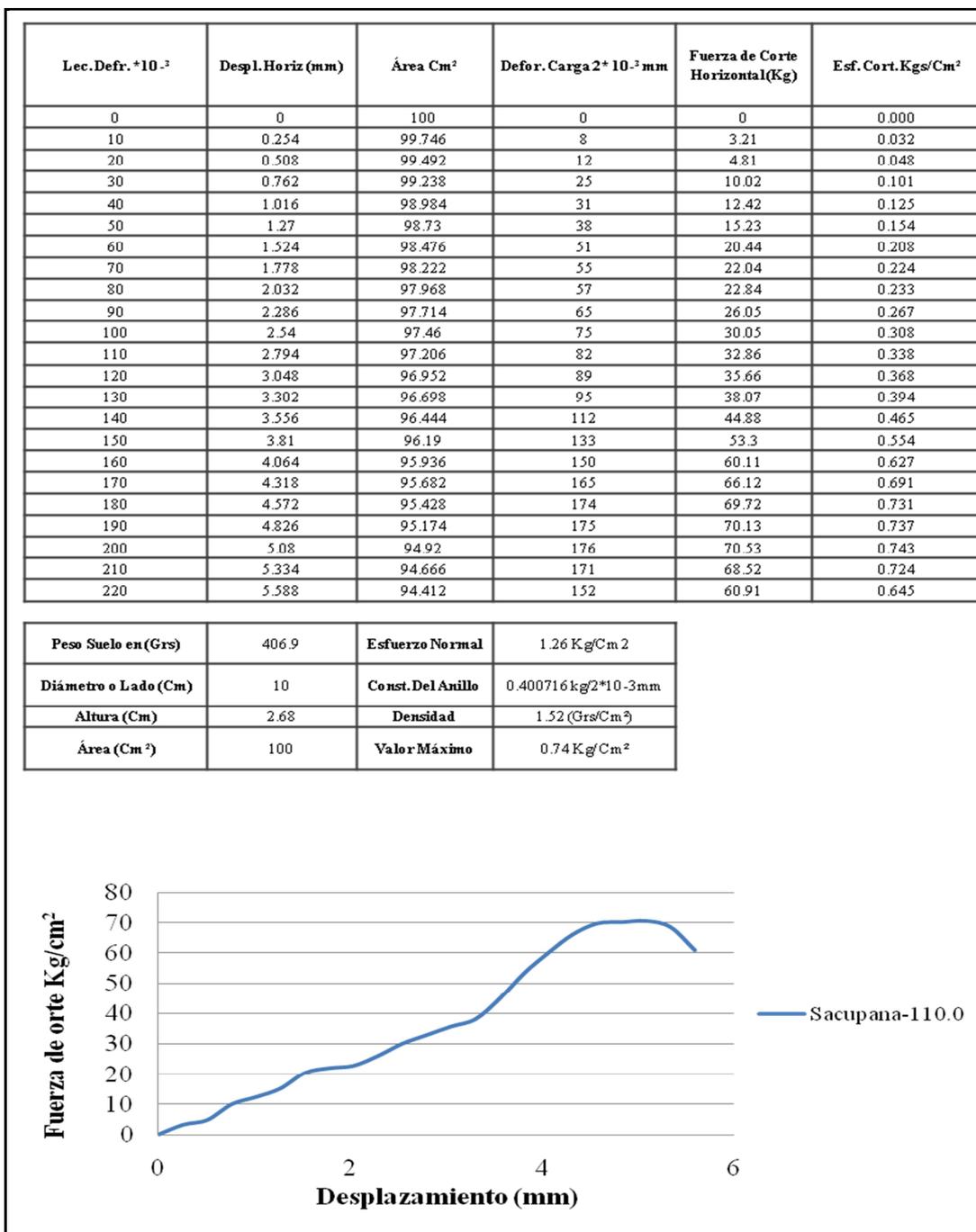


Figura A.4 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (100 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 110.0, sector Sacupana del canal de navegación río Orinoco.

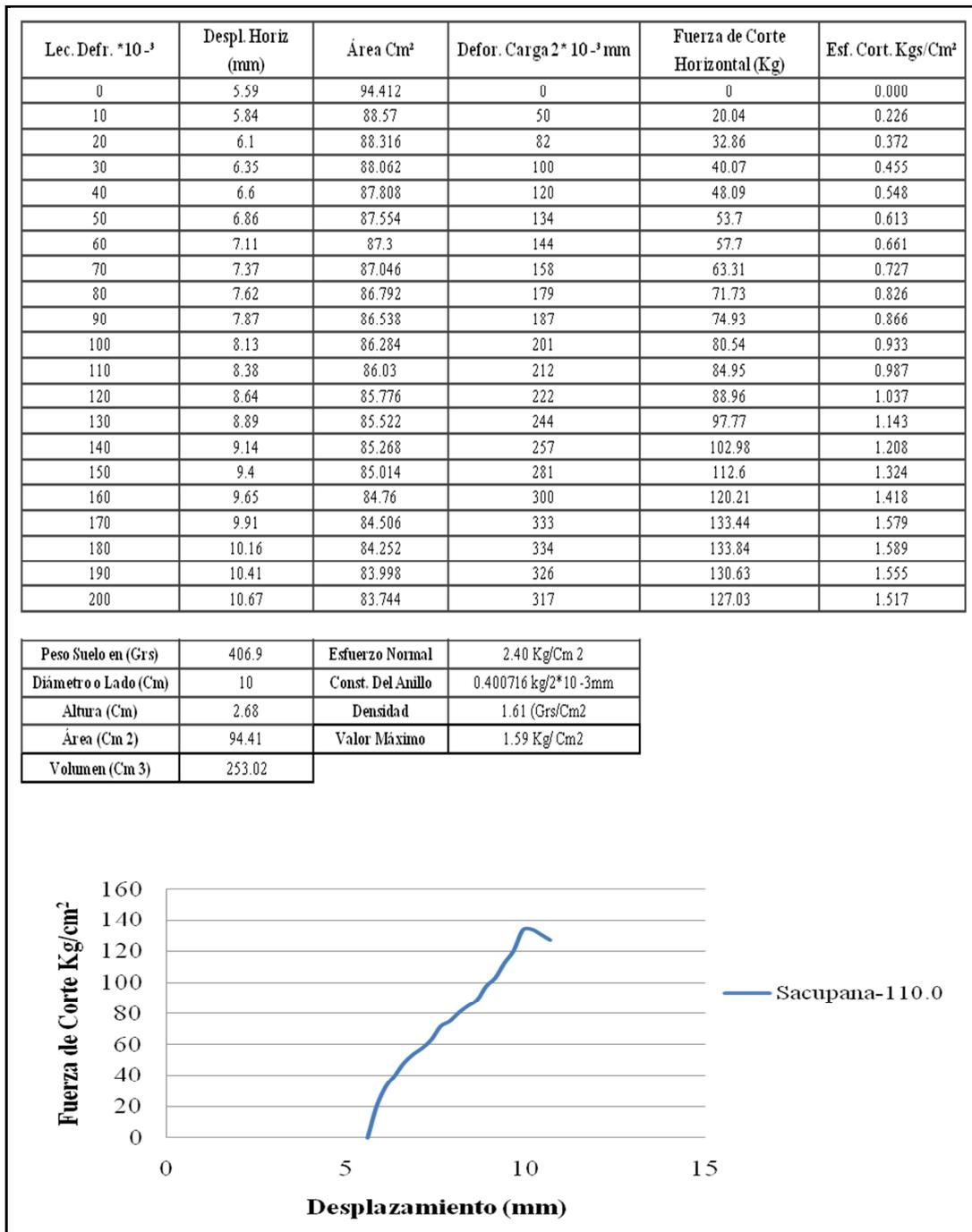


Figura A.5 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (200 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 110.0, sector Sacupana del canal de navegación río Orinoco.

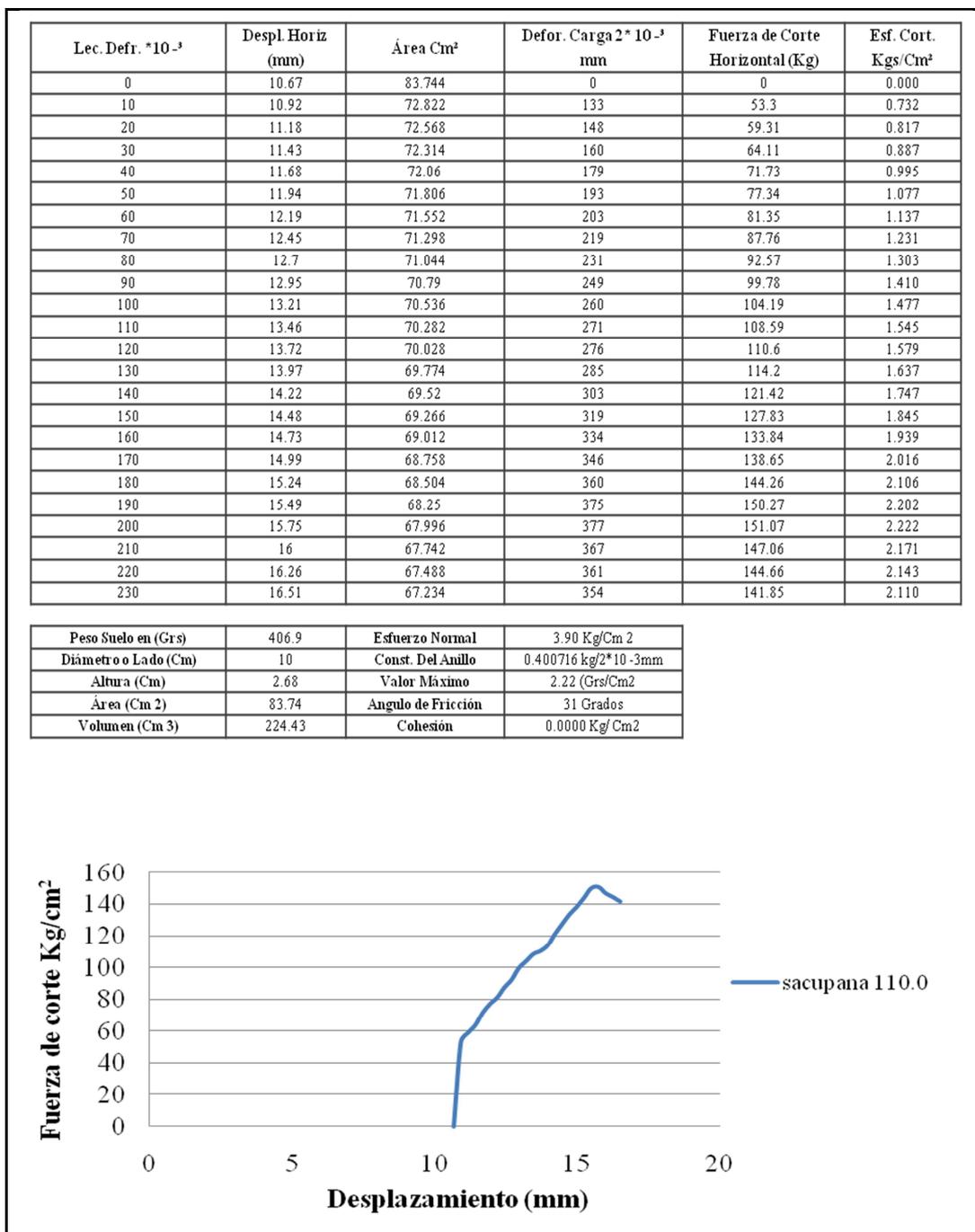


Figura A.6 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (400 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 110.0, sector Sacupana del canal de navegación río Orinoco.

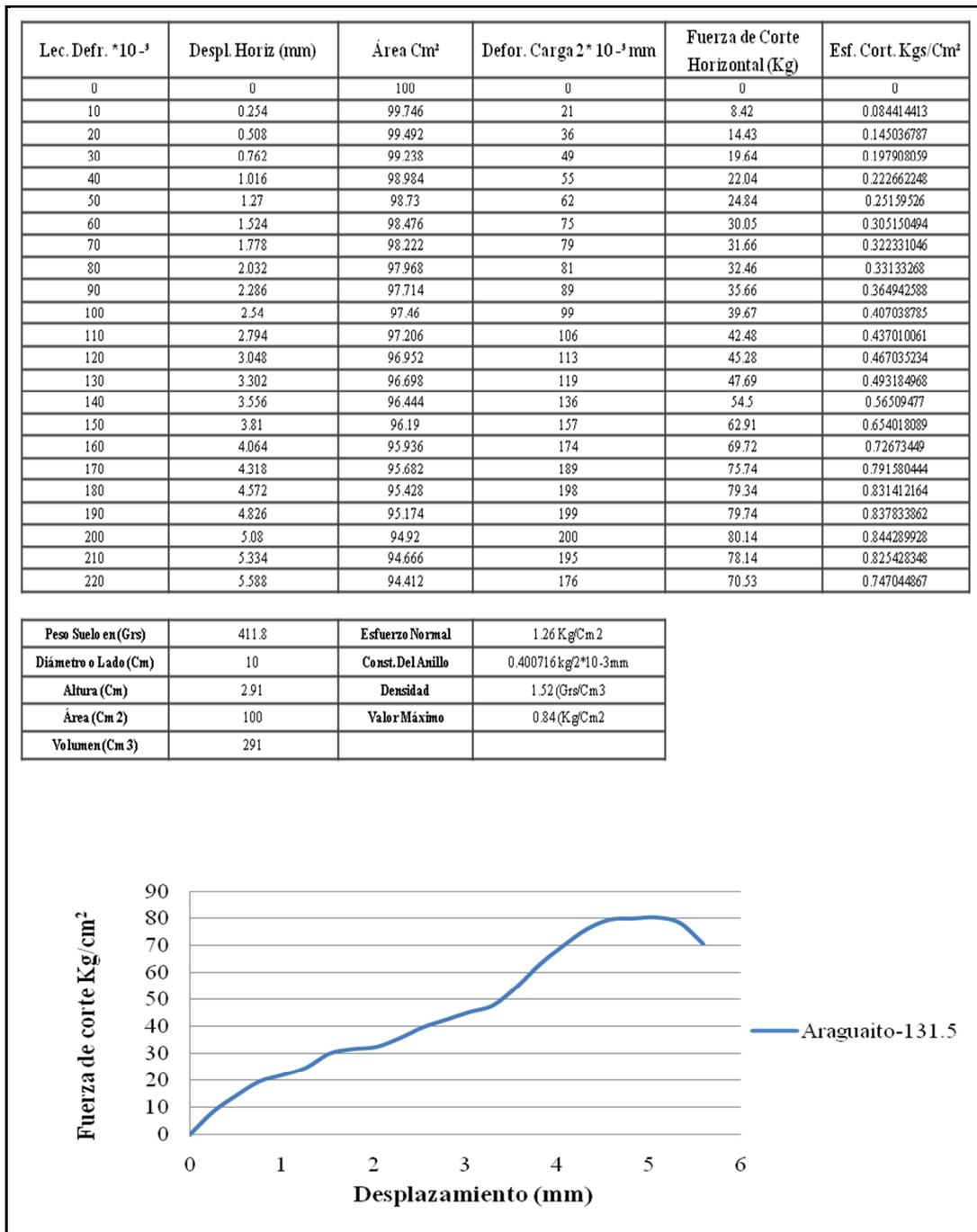


Figura A.7 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (100 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 131.5, sector Araguaito del canal de navegación río Orinoco.

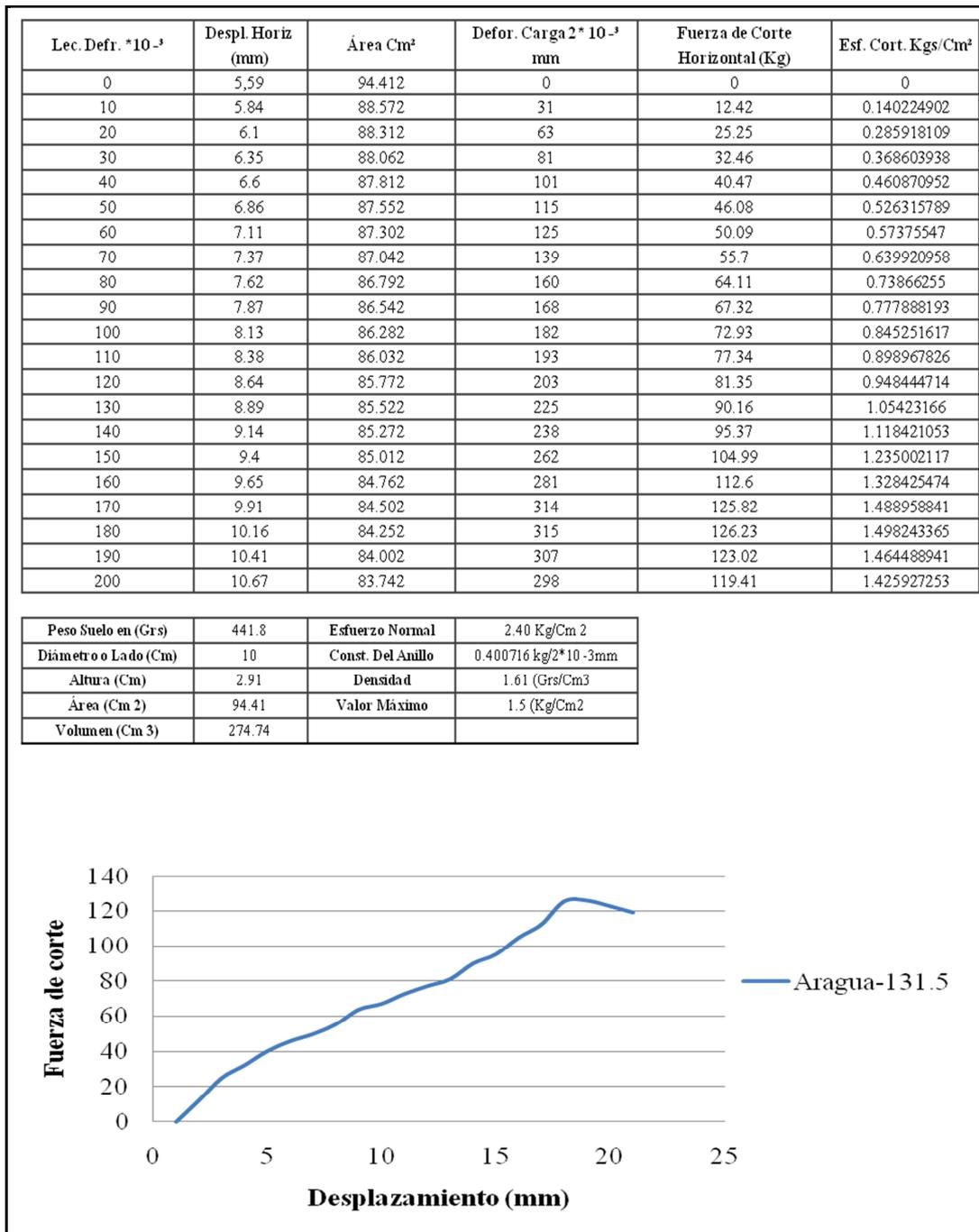


Figura A.8 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (200 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 131.5, sector Araguaito del canal de navegación río Orinoco.

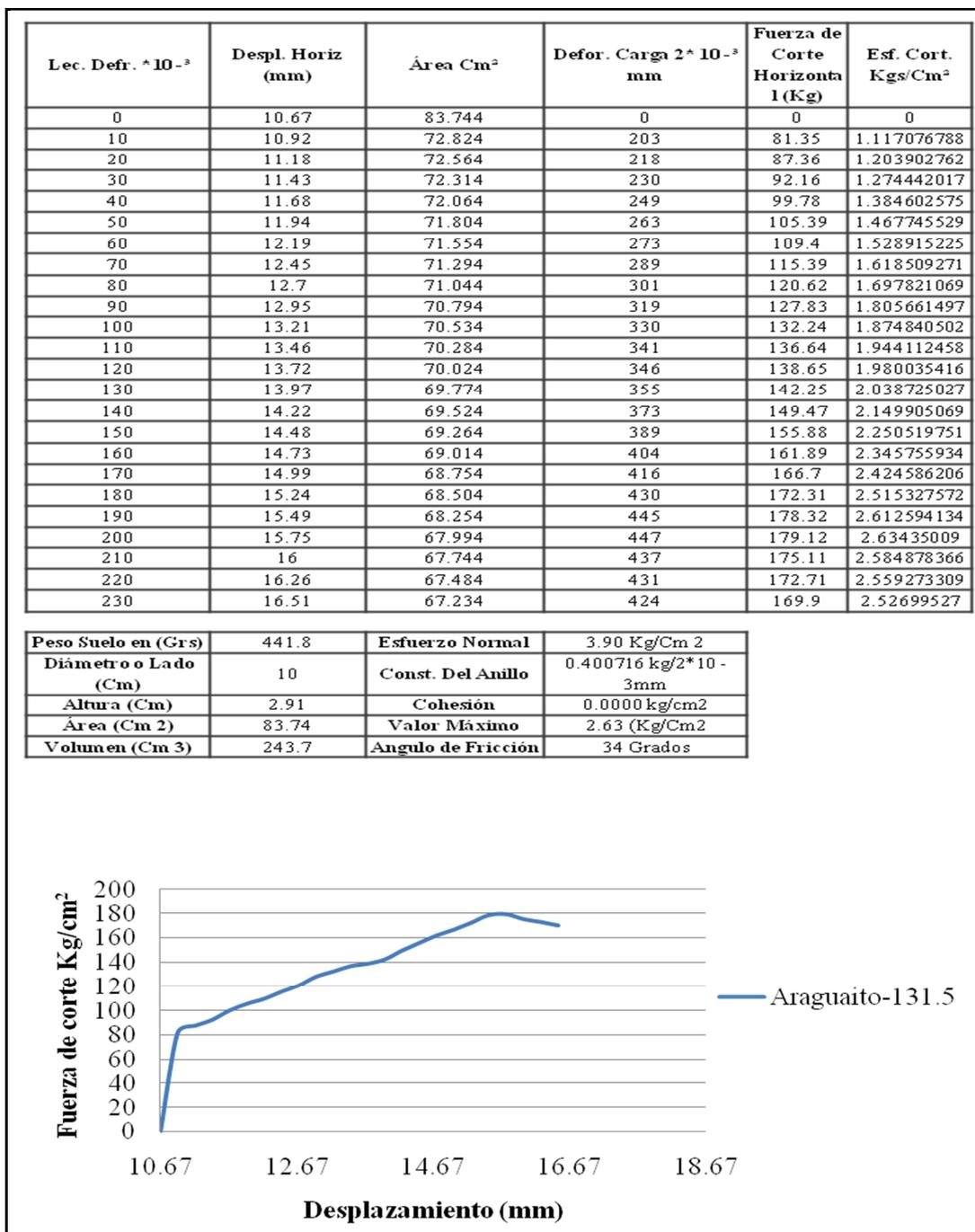


Figura A.9 Curva del ensayo corte directo no consolidado drenado (400 gr), realizado a la muestra tomada en la milla 131.5, sector Araguaito del canal de navegación río Orinoco.

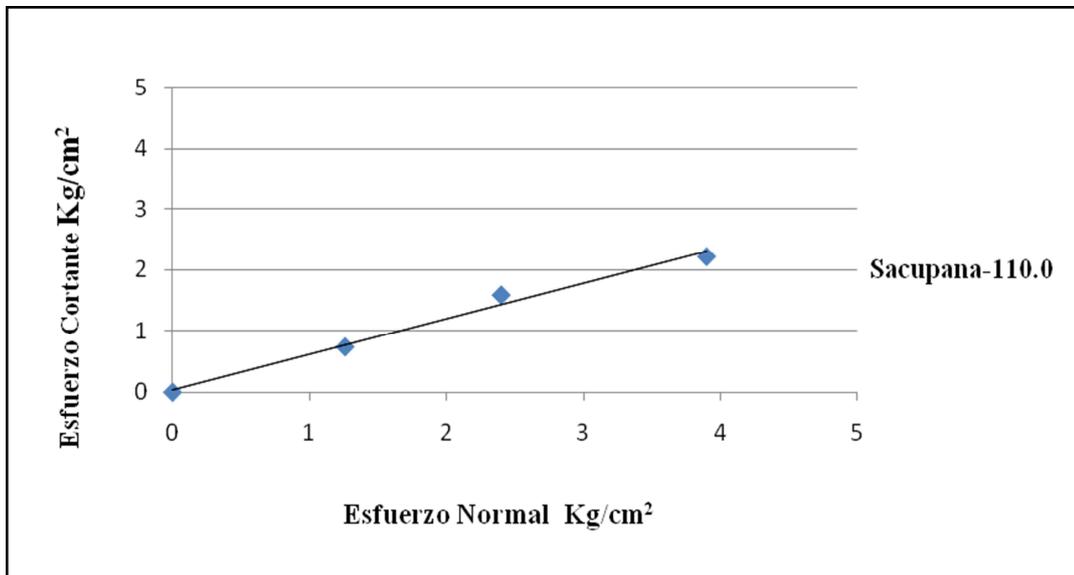


Figura A.10 Gráfico de cálculo de cohesión y ángulo de fricción interna del ensayo corte directo no consolidado drenado, realizado a la muestra tomada en la milla 110.0, sector Sacupana del canal de navegación río Orinoco.

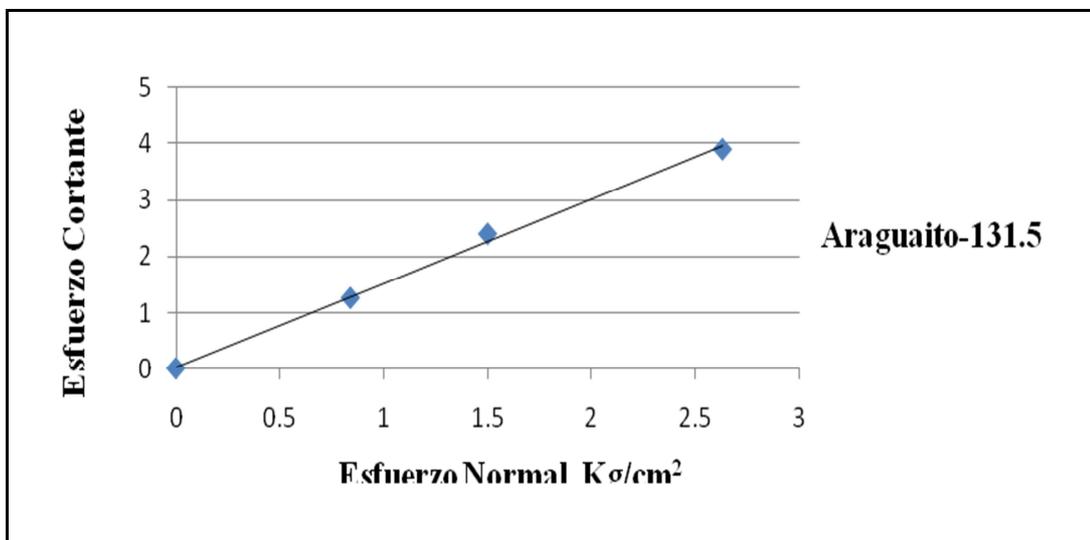


Figura A.11 Gráfico de cálculo de cohesión y ángulo de fricción interna del ensayo corte directo no consolidado drenado, realizado a la muestra tomada en la milla 131.5, sector Araguaito del canal de navegación río Orinoco.

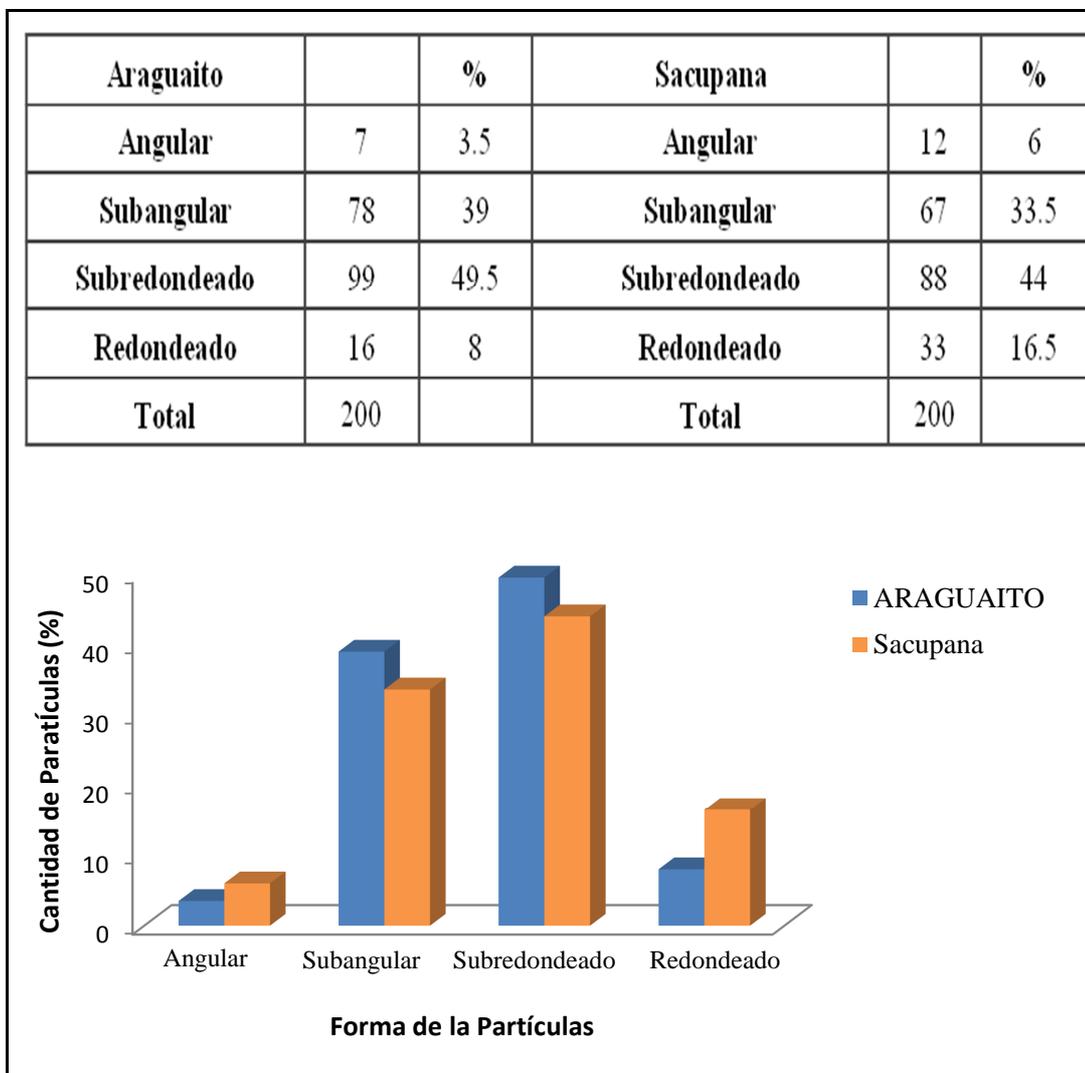


Figura A.12 Representación del análisis de forma correspondiente a las muestras tomadas en los sectores Araguaito, Sacupana del canal de navegación del río Orinoco

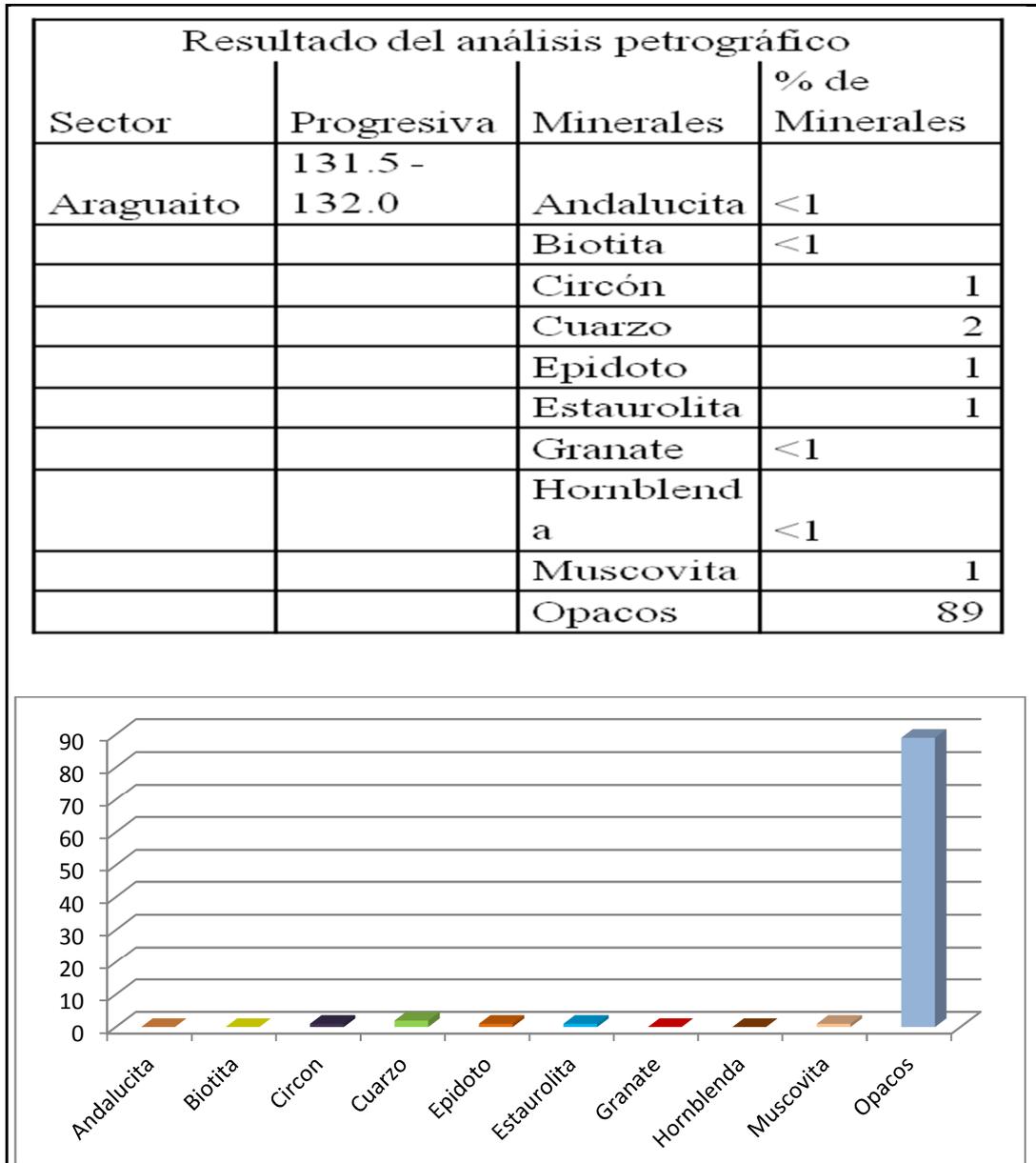


Figura A.13 Análisis petrográfico de las muestras extraídas del sector Araguaito en las millas 131.5-132.0 del canal de navegación del río Orinoco.

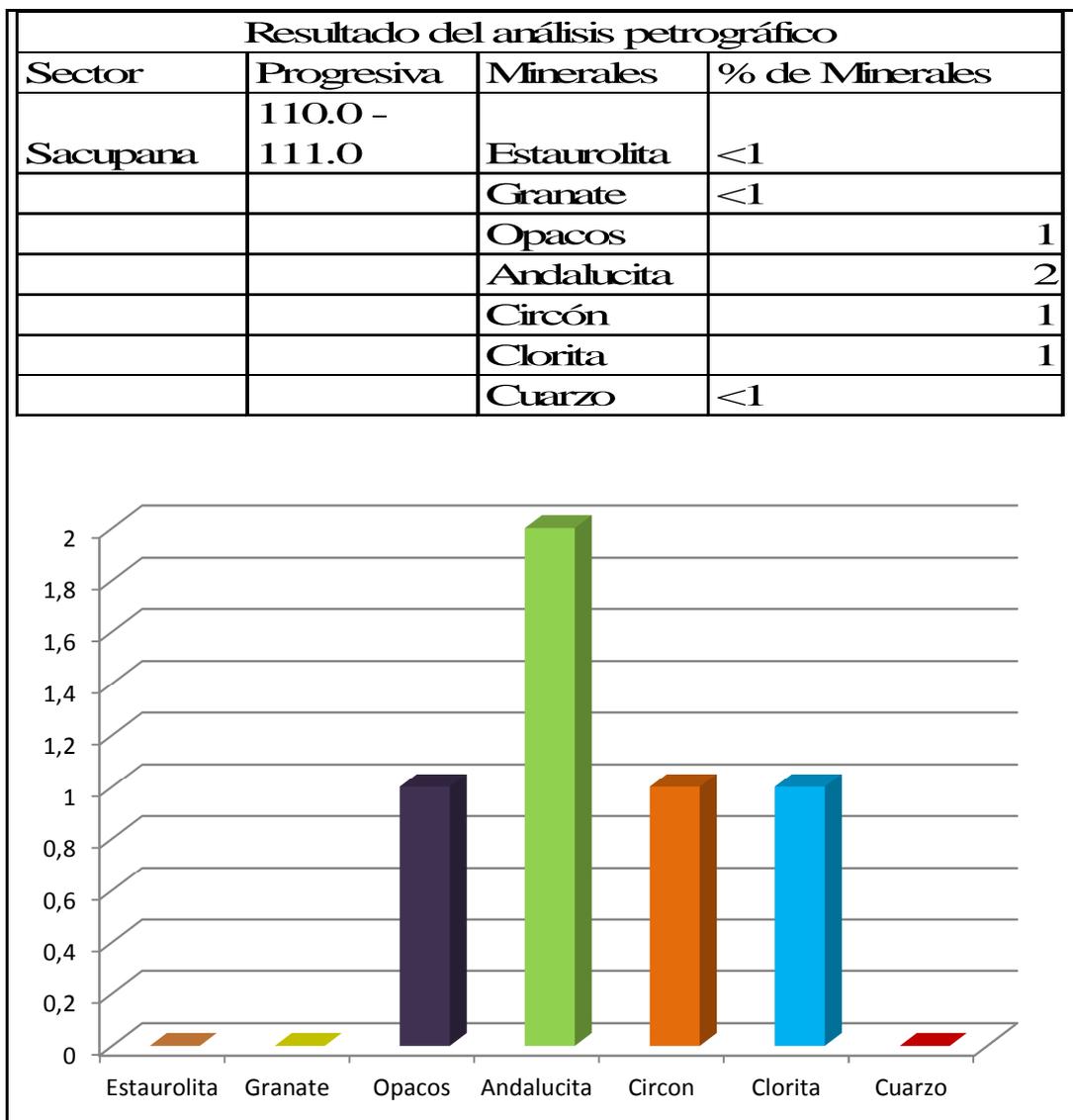


Figura A.14 Análisis petrográfico de las muestras extraídas del sector Sacupana en las millas 110.0 - 111.0 del canal de navegación del río Orinoco.

Apéndice B
Datos Hidráulicos

Tabla B.1 Niveles promedios máximos y mínimos del sector Araguaito en la milla 126.5, durante el periodo 1943-2009 del canal de navegación del río Orinoco.

Araguaito			
Meses	MAX	PROM	MIN
Enero	2.35	1.40	0.71
Febrero	1.60	0.95	0.40
Marzo	1.50	0.90	0.39
Abril	1.96	1.00	0.42
Mayo	4.67	2.20	0.90
Junio	5.96	4.30	2.01
Julio	7.40	6.09	3.65
Agosto	7.34	6.90	5.50
Septiembre	7.30	6.70	5.00
Octubre	6.70	4.60	3.41
Noviembre	5.90	3.80	2.10
Diciembre	4.60	2.60	1.11

Tabla B.2 Niveles promedios máximos y mínimos del sector Sacupana en la milla 109.5, durante el periodo 1943-2009 del canal de navegación del río Orinoco.

Sacupana			
Meses	MAX	PROM	MIN
Enero	2.00	1.29	0.67
Febrero	1.41	0.85	0.31
Marzo	1.31	0.80	0.30
Abril	1.73	0.90	0.40
Mayo	3.85	1.90	0.80
Junio	4.95	3.60	1.72
Julio	6.20	5.10	3.05
Agosto	6.15	5.70	4.55
Septiembre	6.10	5.65	4.20
Octubre	5.65	5.40	3.35
Noviembre	4.95	3.20	1.80
Diciembre	3.80	2.20	1.05

Tabla B.3 Datos de niveles, velocidad, gastos líquidos y gasto sólidos de la secciones de aforo Jeborina Sur en la milla 110.2, sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

Período	Fecha	Nivel (m)	Velocidad (m/s)	Caudal Líquido (m³/s)	Caudal Sólido (Ton/día)
AMA	09/12/1998	2.5	0.78	25.795.75	140.857.20
AA	25/03/2000	0.58	0.61	17.630.68	12.440.21
AA	24/03/2001	0.79	0.24	6.709.40	8.792.00
AA	25/03/2002	0.82	0.54	12.835.71	-
AA	05/07/2003	4.38	0.98	36.315.47	-
AA	26/09/2003	5.51	0.99	41.712.21	-
AA	18/01/2004	1.44	0.27	7.888.2	-

Tabla B.4 Datos de niveles, velocidad, gastos líquidos y gasto sólidos de la secciones de aforo Tres caño Norte ubicada en la milla 131.1, sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

Período	Fecha	Nivel (m)	Velocidad (m/s)	Caudal Líquido (m³/s)	Caudal Sólido (Ton/día)
AA	25/03/2000	0.71	0.26	671.83	948.09
AA	24/03/2001	0.76	0.3	687.16	930.13
AA	24/03/2002	0.76	0.36	938.5	-

Tabla B.5 Datos de la pendiente Hidráulica del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N de Plano	Fecha	Sector	TG - Ya-Ya Corregidas.	TG Socoroco Corregidas.	Distancia entre estaciones linnigráfica	m
00DB5420	31/07/2001	Araguaito	9.80	8.41	43764.80	3.1729E-05

m= Es la pendiente hidráulica entre las estaciones TG Ya-Ya y Socoroco.

Tabla B.6 Datos de la pendiente Hidráulica del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

N de Plano	Fecha	Sector	Socoroco Corregida.	Domingo Pérez Corregida.	Distancia entre estaciones linnigráfica	m
00DB5415	28/07/2001	Sacupana	8.02	4.97	77875.60	3.91825E-05

m= Es la pendiente hidráulica entre las estaciones Socoroco y Domingo Pérez.

Tabla B.7 Datos de la pendiente del lecho de los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

Sector	N de Plano	Linnigráfo	Prof. 1 Corregida (mt)	Prof. 2 Corregida. (mt)	Distancia (mt)	Pendiente del Lecho
Sacupana	00DB5414	milla 111.5	15.01	13.61	4750	0.0002947
Araguaito	00DB5426	milla 132.8	25.45	12.04	10950	0.0012247

Tabla B.8 Datos de las secciones transversales 48, 47 y 46 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 48		N° 47		N° 46	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-5.15	10	-5.35	10	-5.85	15
-19.65	30	-5.65	30	-4.85	35
-20.45	40	-8.05	60	-7.25	60
-20.15	55	-9.75	80	-9.55	90
-18.45	70	-10.75	110	-10.25	115
-16.35	100	-11.75	140	-10.85	145
-13.95	125	-13.05	165	-11.75	180
-12.75	155	-14.85	190	-11.45	210
-11.85	190	-14.65	220	-11.35	240
-10.55	215	-11.65	250	-11.25	270
-10.35	245	-10.45	275	-10.85	300
-8.45	275	-9.25	300	-10.65	330
-6.25	305	-8.15	335	-9.95	365
-5.65	335	-6.55	365	-10.25	395
-5.05	365	-5.45	390	-9.55	425
-4.65	400	-4.65	415	-9.15	460
-4.35	425	-4.75	445	-8.95	485
-4.15	460	-6.15	475	-8.85	515
-4.05	480	-6.85	505	-9.05	550
-4.25	505	-7.35	530	-9.35	580
-4.45	535	-7.35	560	-9.35	610
-4.45	565	-7.55	595	-9.65	640
-4.85	590	-8.35	625	-9.65	675
-4.75	620	-9.05	650	-9.55	700
-5.55	650	-9.75	680	-10.15	735
-6.25	675	-9.75	710	-10.75	760
-7.05	700	-9.85	740	-11.65	785
-7.35	730	-10.35	770	-13.25	825
-8.05	765	-10.95	795	-12.95	850
-7.95	790	-11.45	825	-14.45	890
-8.45	820	-12.25	850	-14.95	925
-9.75	845	-13.15	875	-15.95	950
-10.45	875	-14.05	900	-15.25	980
-12.95	900	-14.35	930	-15.25	995
-12.65	935	-15.75	960	-16.35	1020
-13.65	960	-16.25	985	-17.25	1045
-14.75	990	-15.95	1015	-17.55	1075
-16.05	1020	-17.45	1045	-19.05	1100
-16.75	1050	-18.95	1075	-20.65	1125
-17.15	1080	-20.05	1100	-22.05	1160
-18.65	1110	-21.15	1125	-23.05	1190
-21.95	1145	-22.05	1150	-23.65	1220
-23.55	1170	-22.85	1180	-24.75	1250
-24.65	1195	-23.95	1205	-25.55	1280
-24.95	1225	-24.85	1235	-25.75	1305
-25.95	1250	-25.35	1260	-26.45	1340
-26.95	1285	-27.85	1320	-26.35	1370
-27.95	1315	-26.85	1345	-25.75	1400
-29.45	1345	-26.75	1375	-24.75	1425
-29.95	1375	-27.45	1400	-24.45	1450
-30.75	1405	-28.25	1430	-24.45	1485
-30.55	1435	-27.75	1455	-24.95	1510
-30.25	1460	-26.95	1485	-24.25	1540
-29.55	1490	-27.55	1510	-23.45	1570
-28.55	1520	-28.25	1530	-22.05	1600
-27.45	1550	-31.55	1555	-22.65	1635
-25.45	1575	-27.95	1580	-22.65	1665
-24.65	1600	-16.25	1610	-15.15	1700
-30.55	1625	-8.75	1645	-9.05	1730
-35.05	1650	-6.85	1675	-4.35	1750
-31.25	1680	-6.15	1700	-3.75	1765
-21.75	1715	-5.65	1715		
-16.65	1740				
-5.05	1760				
-3.95	1780				
0	1810	0	1760	0	1790

Tabla B.9 Datos de las secciones transversales 45, 44 y 43 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 44		N° 43	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0
-6.75	25	-3.75	20
-13.65	35	-4.45	35
-11.65	50	-5.65	60
-11.35	75	-6.35	85
-11.35	100	-7.65	115
-12.05	125	-8.85	145
-12.85	155	-9.65	175
-13.25	185	-10.85	200
-14.05	215	-12.35	230
-15.05	240	-13.75	260
-15.55	275	-14.45	285
-15.35	300	-18.75	315
-15.55	330	-18.35	350
-14.65	355	-17.95	370
-13.15	385	-17.45	400
-11.95	420	-17.45	425
-11.05	450	-15.05	460
-10.45	475	-14.45	490
-9.75	500	-13.55	520
-12.45	525	-13.65	550
-12.65	560	-12.75	580
-12.55	600	-11.45	610
-12.45	625	-11.55	640
-11.45	650	-11.75	670
-10.55	680	-12.35	700
-10.85	715	-13.25	730
-11.65	750	-13.05	760
-11.65	775	-13.35	790
-11.75	810	-13.15	825
-12.45	830	-13.45	850
-11.75	865	-13.95	875
-11.85	900	-15.05	910
-13.15	925	-15.65	950
-13.55	955	-16.15	975
-14.35	985	-16.05	1005
-15.55	1015	-16.85	1035
-15.45	1045	-17.55	1065
-15.75	1075	-19.05	1095
-15.55	1100	-20.05	1125
-15.45	1135	-19.85	1150
-16.45	1165	-21.75	1180
-16.75	1195	-17.25	1210
-17.25	1225	-18.35	1235
-16.25	1250	-12.15	1275
-15.65	1275	-13.05	1310
-15.55	1310	-12.75	1345
-15.15	1340	-12.15	1380
-15.05	1400	-10.65	1415
-15.65	1425	-9.85	1450
-18.55	1450	-9.65	1485
-17.25	1460	-6.55	1525
-16.05	1515	-5.35	1560
-15.65	1545	-4.35	1595
-15.95	1575	-4.15	1615
-16.05	1600	0	1655
-16.25	1665		
-15.45	1695		
-15.25	1775		
-13.95	1810		
-13.75	1840		
-15.65	1875		
-14.45	1900		
-13.65	1925		
-10.95	2275		
-9.85	2310		
-8.65	2330		
-5.95	2350		
-4.15	2365		
0	2390		

Tabla B.10 Datos de las secciones transversales 42, 41 y 40 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 42		N° 41		N° 40	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-3.75	20	-4.75	25	-0.05	20
-4.65	30	-7.05	40	-8.95	50
-5.85	60	-6.85	70	-8.45	75
-6.45	90	-7.45	100	-8.95	110
-7.15	125	-7.85	125	-10.05	140
-7.95	160	-8.75	150	-10.65	175
-8.55	190	-9.15	180	-11.45	200
-10.15	225	-10.05	210	-11.65	235
-11.15	260	-11.05	245	-12.35	265
-12.45	295	-12.15	275	-14.25	300
-14.05	330	-14.05	300	-15.05	325
-18.25	360	-14.45	340	-15.95	365
-18.85	395	-15.35	370	-16.25	395
-19.15	430	-15.75	395	-17.75	425
-18.95	460	-16.85	425	-19.15	450
-16.35	495	-18.75	465	-20.85	485
-14.45	535	-19.45	490	-22.65	520
-13.75	565	-19.65	525	-24.45	545
-12.65	600	-20.15	550	-26.65	575
-11.95	630	-20.05	580	-27.85	610
-12.05	665	-20.55	615	-27.65	640
-14.95	700	-21.65	640	-28.25	670
-14.95	730	-22.45	670	-28.45	700
-14.85	765	-22.75	705	-29.45	725
-15.15	800	-24.15	730	-29.45	760
-15.55	830	-26.05	760	-28.65	790
-17.15	860	-26.45	790	-28.15	820
-21.05	900	-26.85	820	-28.15	850
-23.45	930	-26.85	850	-28.85	875
-25.95	965	-29.05	875	-32.05	905
-27.85	1000	-29.75	905	-27.05	935
-29.65	1025	-28.45	925	-11.95	960
-30.85	1055	-27.45	960	0	1020
-32.55	1085	-20.65	1000		
-32.35	1120	-10.95	1025		
-22.45	1150	-5.95	1050		
-7.35	1175	-4.25	1085		
-6.85	1215	-3.25	1100		
-5.75	1240	0	1115		
-5.15	1265				
-4.45	1280				
0	1305				

Tabla B.11 Datos de las secciones transversales 39, 38 y 37 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 38		N° 39		N° 37	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-3.34	25	-4.45	25	-5.94	140
-6.34	50	-5.85	35	-5.14	160
-10.14	80	-6.35	60	-6.24	190
-11.64	110	-9.25	80	-6.04	225
-10.24	145	-10.55	115	-5.74	265
-12.94	175	-12.65	150	-4.74	300
-11.94	205	-13.35	175	-3.84	325
-13.94	240	-14.75	210	-4.04	365
-15.34	270	-15.55	245	-4.94	400
-16.24	300	-16.45	275	-6.34	435
-19.04	335	-17.65	310	-7.74	470
-20.64	370	-20.35	340	-9.64	500
-22.34	395	-22.55	370	-11.24	540
-22.74	425	-22.75	400	-13.14	575
-23.84	455	-24.95	435	-19.54	715
-24.34	495	-25.55	470	-21.94	750
-24.74	520	-29.15	500	-23.84	785
-25.64	550	-29.15	535	-24.84	825
-26.14	580	-30.05	565	-25.04	860
-26.44	615	-31.45	600	-28.64	895
-27.24	645	-32.05	630	-30.74	935
-28.24	675	-31.05	665	-26.44	970
-25.64	705	-29.95	695	-23.34	1000
-24.84	725	-27.65	725	-21.34	1040
-23.84	735	-26.35	760	-20.94	1075
-21.74	770	-26.15	795	-18.24	1110
-19.54	800	-23.75	830	-12.84	1280
-20.74	830	-13.95	860	-11.84	1320
-18.24	865	-4.95	890	-10.94	1350
-16.54	895	-3.85	905	-10.04	1385
-14.64	925	0	930	-9.04	1420
-13.04	960			-6.04	1445
-10.54	985			-3.44	1470
-5.14	1010			0	1485
-3.34	1025				
0	1050				

Tabla B.12 Datos de las secciones transversales 36, 35 y 34 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 36		N° 35		N° 34	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-5.65	45	-4.44	140	-3.24	25
-7.65	65	-12.44	160	-3.94	50
-9.85	85	-24.44	190	-15.04	75
-13.25	110	-24.64	225	-30.24	100
-14.25	130	-25.64	265	-42.54	125
-14.35	160	-34.64	300	-43.84	155
-16.55	190	-37.64	325	-42.54	190
-17.65	225	-38.04	365	-38.04	220
-18.35	260	-38.24	400	-36.04	250
-19.05	295	-36.74	435	-33.34	285
-26.65	330	-33.94	470	-30.04	320
-27.55	365	-31.44	500	-28.24	360
-27.95	400	-29.74	540	-24.24	390
-34.05	435	-28.94	575	-20.14	425
-34.15	470	-27.34	610	-16.94	460
-30.65	505	-24.24	650	-13.64	485
-27.15	540	-19.94	675	-12.54	520
-25.45	575	-17.54	715	-11.44	550
-22.85	610	-15.94	750	-10.14	585
-19.55	645	-15.44	785	-9.04	615
-17.55	680	-14.34	825	-7.84	650
-16.25	715	-13.34	860	-7.24	680
-15.85	750	-12.04	895	-7.54	715
-14.95	785	-11.24	935	-6.24	750
-13.35	820	-10.04	970	-5.74	780
-12.75	850	-9.24	1000	-5.94	810
-11.55	885	-8.94	1040	-6.34	845
-10.35	920	-7.34	1075	-6.54	875
-10.05	955	-7.04	1110	-6.34	910
-9.75	990	-6.74	1145	-6.14	950
-8.75	1020	-6.64	1180	-4.04	980
-7.55	1055	-6.14	1215	-3.64	1000
-6.85	1090	-6.14	1250	0	1015
-5.55	1120	-6.74	1280		
-0.15	1140	-9.94	1320		
0	1160	0	1350		

Tabla B.13 Datos de las secciones transversales 33, 32 y 31 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 33		N° 32		N° 31	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-3.64	25	-6.14	70	-13.04	50
-3.94	50	-12.34	80	-22.14	90
-4.44	90	-19.44	105	-27.64	125
-20.74	120	-23.04	120	-27.54	160
-36.84	165	-22.14	140	-27.64	190
-37.34	195	-19.34	160	-27.94	225
-36.44	225	-23.14	190	-27.14	260
-33.84	250	-37.04	220	-28.34	290
-31.54	275	-36.94	250	-29.14	325
-30.04	315	-36.94	270	-29.64	355
-28.74	350	-35.64	315	-30.14	390
-27.14	390	-35.04	345	-29.34	425
-26.24	425	-35.04	375	-28.24	460
-24.24	450	-32.34	375	-26.84	495
-18.84	485	-30.94	400	-25.74	525
-14.54	520	-30.14	435	-24.74	560
-12.54	550	-27.44	470	-23.84	595
-10.14	585	-25.04	500	-22.54	630
-8.64	615	-22.04	530	-19.54	665
-7.74	650	-19.14	560	-17.84	695
-6.84	675	-19.54	600	-14.84	725
-6.74	715	-16.44	625	-9.44	755
-7.14	750	-13.54	650	-7.84	780
-7.34	780	-10.34	690	-4.34	795
-7.34	820	-8.54	725	0	820
-5.54	850	-7.94	750		
-4.84	875	-6.74	785		
0	905	-6.44	820		
		-6.54	850		
		-7.04	885		
		-3.94	915		
		-3.44	935		
		0	945		

Tabla B.14 Datos de las secciones transversales 30, 29 y 28 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 30		N° 29		N° 28	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-4.05	25	-4.05	25	-9.35	40
-4.35	55	-4.75	65	-11.65	70
-7.45	80	-7.25	100	-13.35	105
-9.45	110	-9.05	135	-14.25	145
-23.65	150	-21.55	170	-15.25	175
-25.75	180	-22.05	210	-16.95	225
-26.15	210	-22.45	240	-17.65	260
-27.15	240	-22.95	270	-18.65	300
-28.85	275	-22.45	300	-20.45	335
-28.75	305	-22.95	335	-22.05	375
-28.05	340	-22.45	360	-22.75	410
-27.75	370	-23.85	395	-20.55	445
-28.25	400	-24.35	425	-20.15	475
-28.85	425	-24.85	465	-21.45	510
-27.65	465	-25.15	500	-22.45	550
-27.15	500	-23.65	535	-24.05	580
-27.35	525	-24.55	575	-24.85	615
-27.05	560	-25.45	600	-25.45	650
-27.15	595	-26.35	635	-26.25	685
-27.55	625	-26.65	675	-27.05	720
-28.85	650	-26.75	700	-27.55	750
-35.05	690	-26.65	730	-27.05	790
-36.15	720	-26.35	765	-23.85	825
-32.55	750	-24.45	800	-18.85	855
-21.45	775	-20.25	860	-7.95	885
-14.15	815	-17.35	915	0	925
-10.45	850	0	950		
-8.55	885				
0	910				

Tabla B.15 Datos de las secciones transversales 27, 26 y 25 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 27		N° 26		N° 25	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-4.35	25	-9.05	35	-4.35	35
-6.85	35	-8.85	75	-8.65	65
-8.15	75	-9.25	110	-8.45	100
-8.95	105	-8.45	145	-8.55	140
-9.45	135	-8.95	180	-9.55	175
-9.75	165	-9.75	215	-8.95	210
-10.15	200	-9.15	250	-8.65	245
-10.85	230	-9.85	290	-9.65	280
-11.55	265	-9.75	325	-8.85	315
-12.95	300	-10.55	360	-8.95	350
-13.15	335	-10.85	400	-9.25	385
-13.25	370	-11.15	435	-8.25	420
-13.75	400	-12.15	465	-8.05	455
-15.15	440	-11.75	500	-8.15	490
-14.55	470	-13.25	535	-8.15	530
-14.55	500	-12.85	575	-8.95	560
-15.35	535	-13.55	610	-10.45	595
-16.45	570	-14.55	640	-9.35	630
-17.05	600	-15.75	675	-10.65	665
-17.95	640	-14.65	710	-11.15	700
-19.65	670	-15.05	745	-11.95	735
-19.45	700	-15.55	780	-12.35	770
-19.65	745	-16.35	815	-13.35	805
-20.75	775	-17.15	850	-14.65	840
-23.05	815	-17.95	880	-16.75	875
-24.05	850	-19.15	915	-20.45	915
-25.35	885	-20.55	950	-26.55	950
-26.45	920	-22.35	980	-32.25	985
-27.25	955	-24.05	1015	-35.85	1020
-27.05	990	-25.25	1050	-40.25	1050
-26.05	1025	-26.45	1085	-45.05	1090
-23.05	1065	-27.85	1115	-47.35	1120
-15.95	1095	-28.05	1150	-49.15	1150
0	1145	-23.75	1190	-44.85	1180
		-21.75	1220	-36.85	1210
		-17.35	1250	-15.65	1250
		-7.45	1285	-5.95	1280
		0	1305	0	1350

Tabla B.16 Datos de las secciones transversales 24, 23 y 22 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 24		N° 23		N° 22	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-4.65	20	-3.65	30	-5.05	35
-8.25	50	-5.85	55	-4.55	65
-7.35	80	-5.95	90	-4.15	100
-7.75	115	-6.35	120	-3.95	130
-7.65	150	-6.15	150	-4.75	160
-7.75	180	-6.35	160	-5.25	195
-7.25	215	-6.45	220	-4.55	225
-7.85	250	-7.05	255	-4.75	260
-8.45	285	-6.55	290	-5.15	290
-8.25	315	-6.05	325	-4.95	325
-8.35	350	-5.85	355	-5.05	355
-7.65	385	-6.55	390	-5.35	385
-7.05	415	-6.55	425	-5.25	420
-6.95	450	-6.65	460	-5.35	450
-7.45	480	-6.65	490	-5.65	480
-8.15	515	-6.45	525	-5.75	515
-8.85	545	-7.05	560	-6.55	545
-9.55	580	-7.15	595	-6.15	575
-10.45	610	-8.15	625	-7.65	610
-10.95	645	-9.25	665	-9.55	640
-10.05	675	-10.15	700	-11.35	675
-11.45	710	-12.05	735	-15.55	705
-15.25	740	-14.55	765	-18.05	740
-17.95	775	-18.05	800	-21.85	775
-22.15	810	-20.65	835	-25.85	810
-29.15	845	-23.05	870	-28.65	840
-33.45	875	-27.15	900	-31.25	875
-37.05	910	-29.85	935	-33.55	905
-39.65	940	-34.05	970	-34.75	940
-39.15	975	-34.65	1000	-34.15	975
-37.35	1005	-34.95	1035	-34.75	1005
-34.65	1035	-37.25	1070	-35.75	1040
-34.05	1070	-39.95	1100	-37.75	1070
-27.95	1100	-39.95	1135	-39.25	1100
-27.05	1135	-39.65	1170	-35.55	1140
-26.65	1170	-41.55	1200	-39.15	1170
-25.25	1200	-34.25	1230	-26.15	1210
-24.45	1235	-18.65	1265	-17.35	1240
-20.35	1270	-6.35	1295	-4.25	1260
-15.05	1300	-4.45	1320	0	1295
-8.35	1325	0	1350		
0	1345				

Tabla B.17 Datos de las secciones transversales 21, 20 y 19 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 21		N° 20		N° 19	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-3.95	25	-3.95	15	-14.35	100
-5.05	40	-3.25	40	-14.75	130
-4.45	75	-3.05	70	-14.25	165
-4.05	110	-3.05	95	-23.15	195
-4.25	140	-2.85	120	-31.15	225
-4.05	175	-3.05	150	-37.75	265
-4.05	210	-3.05	175	-39.55	300
-3.65	240	-2.95	205	-42.45	335
-3.85	275	-3.35	235	-44.05	365
-3.75	305	-3.25	260	-41.55	400
-4.15	340	-3.35	290	-36.45	425
-3.85	370	-3.65	320	-35.45	460
-4.45	405	-3.75	350	-36.65	490
-4.35	440	-3.75	375	-34.95	520
-4.65	475	-3.85	405	-31.85	550
-4.85	510	-6.05	435	-31.85	580
-7.05	550	-13.75	465	-31.25	610
-10.55	580	-24.65	500	-31.05	640
-14.85	620	-32.55	535	-29.15	670
-20.35	650	-34.75	570	-27.65	700
-24.85	690	-36.25	600	-26.35	730
-30.15	725	-38.35	635	-24.55	765
-32.85	760	-38.05	670	-22.15	795
-33.85	790	-37.75	725	-14.95	825
-35.35	825	-37.65	755	0	875
-34.65	860	-37.25	780		
-35.15	895	-38.35	810		
-35.25	925	-38.85	830		
-36.75	960	-37.65	855		
-37.65	990	-36.55	890		
-38.65	1020	-36.55	920		
-38.55	1050	-35.15	950		
-38.45	1080	-27.95	1000		
-31.45	1110	-11.85	1030		
-19.45	1140	0	1080		
0	1185				

Tabla B.18 Datos de las secciones transversales 18, 17 y 16 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 18		N° 17		N° 16	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-17.45	35	-4.55	25	-13.35	30
-20.65	70	-10.55	45	-21.45	70
-28.05	110	-21.95	80	-23.45	100
-33.65	140	-29.05	100	-24.85	140
-37.25	175	-29.85	135	-26.55	170
-37.55	210	-31.05	165	-27.25	205
-37.55	245	-31.55	190	-28.65	240
-36.65	280	-31.15	230	-27.65	315
-37.15	315	-29.85	260	-27.55	385
-36.35	355	-31.75	290	-26.55	415
-34.05	390	-31.75	320	-27.15	450
-33.35	425	-31.55	350	-27.55	485
-31.55	460	-33.05	380	-25.65	520
-29.65	495	-30.45	415	-24.15	550
-26.55	525	-30.35	445	-23.65	585
-23.85	560	-27.45	475	-22.55	620
-22.45	600	-26.75	505	-20.55	650
-22.05	635	-24.55	540	-18.95	690
-21.75	665	-21.55	570	-17.45	755
-20.65	700	-20.95	600	-16.75	785
-19.85	735	-21.15	630	-15.45	850
-19.35	770	-22.45	665	-13.35	890
-18.05	800	-20.65	695	-14.75	920
-9.75	840	-18.95	730	-13.25	950
-3.55	870	-18.25	765	-12.55	985
0	900	-17.15	795	-11.25	1020
		-15.75	830	-10.35	1050
		-15.45	860	-9.05	1120
		-14.65	895	-8.35	1150
		-13.35	930	-5.65	1180
		-9.55	965	-5.05	1215
		-6.05	1000	-3.35	1270
		0	1055	0	1280

Tabla B.19 Datos de las secciones transversales 15, 14 y 13 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 15		N° 14		N° 13	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-17.95	35	-7.45	60	-4.15	30
-20.25	70	-23.85	95	-14.45	55
-21.35	105	-27.75	130	-27.35	90
-22.45	140	-33.25	160	-27.75	125
-23.65	170	-30.95	195	-29.35	160
-24.75	210	-29.75	225	-28.65	195
-27.25	245	-29.55	260	-28.15	235
-27.25	280	-26.95	295	-28.75	270
-24.95	315	-24.75	330	-27.75	300
-25.85	350	-24.75	360	-25.55	340
-25.05	385	-23.55	395	-23.65	375
-24.65	415	-22.85	425	-22.75	405
-25.45	450	-21.65	460	-23.65	440
-23.25	485	-21.85	495	-22.55	470
-22.55	520	-22.75	525	-21.95	505
-21.55	550	-23.15	560	-19.35	540
-20.85	585	-21.15	595	-18.35	570
-20.75	620	-19.55	625	-17.55	605
-19.85	650	-18.95	660	-16.65	640
-17.85	685	-19.95	695	-15.65	675
-17.65	715	-18.65	730	-15.45	705
-18.95	750	-17.45	765	-13.95	740
-21.85	785	-16.05	795	-14.45	770
-15.65	815	-14.75	830	-13.75	810
-15.95	850	-13.75	865	-11.75	845
-13.95	885	-12.45	895	-10.85	875
-13.75	915	-11.75	935	-10.45	910
-13.05	950	-12.35	965	-8.95	940
-11.75	985	-11.45	1000	-10.25	975
-10.85	1015	-9.75	1035	-8.35	1010
-9.95	1045	-8.65	1065	-7.15	1045
-10.35	1080	-8.05	1100	-6.75	1075
-9.25	1110	-6.95	1135	-6.45	1110
-8.95	1145	-6.65	1165	-5.85	1145
-8.45	1180	-6.25	1200	-5.35	1180
-8.05	1210	-5.85	1235	-4.75	1215
-7.45	1240	-5.55	1265	-5.25	1250
-7.05	1275	-5.15	1295	-4.55	1280
-6.65	1310	-5.35	1325	-4.25	1315
-6.35	1340	-4.75	1360	-4.15	1350
-6.35	1370	-4.65	1390	-4.15	1375
-5.95	1400	-4.55	1425	0	1385
-5.75	1430	-4.55	1460		
-5.15	1460	-4.25	1475		
-4.65	1490	0	1490		
-3.85	1525				
-3.55	1545				
0	1560				

Tabla B.20 Datos de las secciones transversales 12, 11 y 10 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 12		N° 11		N° 10	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-8.35	35	-6.5	50	-16.4	45
-18.45	65	-24.8	75	-15.8	60
-25.15	100	-27.8	105	-16	90
-31.05	130	-29.5	135	-17.8	120
-30.25	160	-30.4	170	-20.4	155
-29.95	190	-30.7	200	-20.3	190
-28.85	220	-28.8	235	-21.2	235
-28.85	255	-28.9	270	-23.9	265
-27.05	280	-27.5	305	-23.5	305
-26.15	320	-26.7	340	-23.7	340
-26.35	350	-27.5	370	-24.5	370
-25.25	385	-27.6	400	-25.7	395
-24.95	415	-24.2	435	-24.5	425
-24.45	450	-22.5	465	-24.2	460
-22.25	480	-20.5	495	-25	490
-20.85	515	-20	535	-23.6	515
-19.45	545	-19.2	565	-22.3	550
-17.55	580	-17.6	600	-22.3	580
-16.35	610	-16	630	-21.4	610
-15.75	645	-15.8	670	-22.2	650
-14.65	675	-14.3	700	-21.8	690
-13.35	705	-14.3	735	-20.6	725
-11.65	735	-13.2	765	-20.7	760
-12.15	770	-12.3	800	-19.1	790
-11.45	805	-11.2	835	-18.1	825
-10.25	840	-10.4	870	-17.1	860
-10.35	870	-9.5	905	-13.4	895
-8.95	905	-8.8	940	-12.6	930
-8.65	940	-8.2	975	-12.1	965
-7.55	975	-7.3	1010	-11.4	1000
-6.85	1000	-7.9	1045	-11.7	1035
-6.35	1035	-8.5	1080	-11.2	1065
-6.35	1070	-7	1105	0	1210
-6.35	1105	0	1105		
-6.25	1140				
-6.35	1170				
-6.25	1205				
0	1260				

Tabla B.21 Datos de las secciones transversales 9, 8 y 7 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

Nº 9		Nº 8		Nº 7	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-15	25	-13.9	35	-4.7	40
-17.1	50	-21.3	60	-9.8	65
-16.6	75	-20.7	85	-24.9	100
-16.5	110	-20.5	115	-23.9	135
-18.4	145	-19.6	150	-24.2	165
-18.5	180	-19.9	185	-23.8	200
-18.3	215	-19.3	215	-22.8	235
-21.1	250	-20.7	255	-22.6	265
-19.8	285	-20.2	290	-23.4	295
-21.2	320	-21.2	325	-22.7	325
-21.4	350	-20.3	360	-22	360
-22.8	380	-20.8	390	-22.7	390
-23.6	410	-19.7	420	-24.2	425
-24.2	445	-20.3	455	-23.5	455
-23	480	-22.5	485	-24.2	490
-23.5	505	-23.3	520	-26.3	525
-23.7	535	-25.5	550	-28.2	555
-24.9	565	-26.5	585	-29.5	585
-25.5	600	-26.6	615	-28.8	625
-24.8	630	-28.7	650	-28.7	650
-26.1	665	-29.8	685	-28.1	685
-26.4	700	-31.8	715	-28.6	715
-26.4	725	-32.2	750	-29.1	750
-27.4	755	-32.9	785	-27.1	785
-28.5	790	-33.2	810	-26	815
-29.9	825	-29.6	835	-23.2	850
-26.5	855	-25.6	860	-16.6	885
-16.2	885	-18.3	885	-6.1	910
-9.5	925	0	950	0	950
-12.5	965				
-9.4	1010				
-9.6	1040				
-9.2	1070				
-7.8	1100				
0	1140				

Tabla B.22 Datos de las secciones transversales 6, 5 y 4 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

Nº 6		Nº 5		Nº 4	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-14.1	20	-15	55	-3.9	25
-29.1	55	-26.9	90	-8	45
-37.2	90	-31.9	125	-22.5	75
-34.4	125	-31.6	155	-27.3	110
-22	160	-31.1	190	-27.5	150
-24.9	195	-28.5	225	-30.3	180
-24.5	225	-26.5	260	-29.1	215
-24.6	260	-27.1	290	-28.1	245
-25.4	290	-28.9	325	-28.3	275
-27	320	-28.9	360	-28.9	310
-28.2	355	-24.9	395	-30	340
-25.6	390	-24	425	-28.1	375
-25.4	420	-24.4	460	-26.8	410
-26.1	450	-23.7	500	-26	445
-25.7	485	-23.4	535	-25.7	480
-26.8	515	-23.2	565	-24.1	500
-26	550	-21.8	600	-22.3	535
-26	575	-21.6	635	-21.1	575
-25.4	610	-20.8	665	-20.4	610
-26	645	-20.2	700	-20.3	645
-24.3	670	-20.3	735	-19.5	685
-24.5	700	-19.1	765	-19	725
-24.1	730	-18.6	805	-18.8	750
-22.2	765	-18.2	835	-18.7	785
-20.6	800	-13.4	875	-19.3	820
-20.3	835	-5.2	900	-19.8	850
-19.8	865	0	935	-16.4	885
-19.4	900			-12.9	900
-12.9	935			0	960
0	985				

Tabla B.23 Datos de las secciones transversales 3, 2 y 1 del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

N° 3		N° 2		N° 1	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-3.34	15	-8.94	15	-3.94	20
-7.94	30	-3.74	25	-5.04	30
-14.84	50	-6.04	50	-6.34	60
-15.44	80	-9.64	85	-8.14	90
-17.14	125	-10.44	120	-8.14	120
-18.94	160	-10.94	150	-8.24	155
-18.44	195	-12.24	190	-8.94	190
-19.44	230	-12.54	225	-10.54	220
-21.84	265	-13.24	260	-9.54	250
-24.34	295	-14.94	290	-10.74	300
-25.74	330	-17.14	325	-11.24	335
-26.54	365	-16.84	375	-11.84	365
-23.24	395	-16.04	405	-13.74	400
-23.14	425	-18.14	435	-12.94	435
-23.84	460	-20.64	465	-15.14	465
-24.84	490	-20.74	500	-14.54	500
-24.44	525	-20.04	530	-13.64	535
-24.14	560	-22.34	565	-14.24	565
-24.64	600	-23.44	600	-15.24	590
-24.24	635	-22.34	635	-16.94	620
-23.04	670	-22.04	665	-19.24	650
-23.44	700	-23.64	705	-21.04	685
-23.44	735	-24.94	740	-22.74	710
-23.64	770	-26.84	775	-24.04	740
-22.94	800	-28.34	810	-25.84	775
-23.54	835	-31.14	845	-26.94	805
-23.74	865	-34.94	880	-27.54	835
-24.24	900	-38.24	915	-30.64	870
-26.24	935	-40.54	950	-33.94	900
-29.14	970	-42.24	980	-37.04	925
-29.34	1005	-26.94	1015	-38.94	955
-23.44	1035	-21.14	1050	-40.84	990
-9.94	1065	-5.64	1085	-43.94	1020
-10.84	1090	-4.44	1110	-41.54	1055
-7.44	1105	-4.04	1125	-18.74	1090
0	1150	0	1155	-7.24	1125
				-4.84	1160
				-4.44	1170
				0	1200

Tabla B.24 Datos de las secciones transversales 22, 21 y 20 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

N° 22		N° 21		N° 20	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-2.71	15	-3.11	20	-7.91	70
-3.01	35	-3.71	35	-7.21	90
-4.21	65	-7.61	50	-7.31	115
-4.21	90	-8.11	80	-7.71	135
-4.71	120	-8.71	110	-7.21	180
-5.51	150	-6.61	140	-6.91	215
-6.01	180	-6.81	170	-6.51	250
-7.61	210	-7.51	210	-6.41	285
-8.51	235	-7.61	235	-6.41	325
-9.91	265	-7.71	265	-6.41	355
-9.51	295	-7.61	295	-6.11	390
-9.91	325	-7.71	325	-6.31	425
-9.71	355	-7.41	355	-6.31	460
-10.01	385	-7.31	385	-6.91	495
-10.51	415	-7.51	415	-7.31	525
-10.51	460	-8.21	445	-7.31	570
-10.41	490	-7.81	480	-8.21	600
-10.51	520	-8.01	510	-8.31	630
-12.11	555	-9.31	540	-8.41	670
-12.61	585	-8.81	570	-8.81	700
-11.91	620	-8.41	600	-8.81	735
-11.51	650	-9.21	630	-9.71	775
-13.31	680	-9.31	660	-11.01	810
-13.71	710	-9.41	690	-9.11	840
-13.61	745	-9.81	720	-10.31	875
-14.61	780	-10.21	755	-10.41	905
-15.11	810	-11.31	785	-10.51	940
-13.11	840	-13.31	815	-11.11	975
-12.91	875	-12.11	845	-12.71	1005
-13.81	905	-12.81	875	-13.81	1040
-14.61	940	-14.41	905	-14.31	1070
-15.81	975	-15.31	940	-14.51	1105
-17.91	1005	-16.71	970	-12.41	1140
-17.61	1035	-15.11	1000	-12.81	1175
-20.51	1070	-13.01	1030	-14.61	1210
-21.11	1105	-14.31	1065	-16.11	1245
-19.21	1135	-15.41	1095	-17.71	1280
-19.91	1170	-16.51	1125	-20.81	1315
-19.11	1205	-18.21	1155	-21.11	1350
-18.91	1240	-18.41	1185	-20.21	1385
-19.81	1270	-19.21	1215	-22.21	1420
-20.81	1305	-20.71	1250	-23.41	1455
-20.51	1340	-21.81	1280	-21.41	1485
-23.21	1375	-21.51	1320	-20.41	1520
-25.51	1410	-22.11	1350	-21.01	1555
-27.31	1445	-23.71	1370	-23.51	1590
-25.21	1475	-25.31	1400	-22.41	1625
-24.11	1510	-24.11	1430	-22.81	1660
-24.81	1540	-24.71	1465	-22.81	1695
-26.21	1570	-25.71	1500	-23.51	1725
-26.41	1605	-27.01	1535	-23.61	1755
-25.51	1640	-28.31	1570	-23.21	1790
-27.01	1675	-24.71	1605	-22.91	1820
-29.41	1710	-23.71	1635	-23.91	1850
-28.21	1745	-24.01	1665	-28.61	1880
-29.21	1780	-25.81	1695	-29.11	1910
-29.11	1810	-26.01	1725	-27.61	1945
-29.21	1845	-28.91	1755	-24.01	1980
-28.01	1880	-29.81	1785	-24.21	2010
-26.21	1910	-29.21	1815	-25.61	2040
-26.01	1945	-28.51	1850	-23.21	2070
-23.11	1970	-27.91	1880	-22.91	2100
-19.71	1990	-25.61	1910	-22.31	2130
-11.61	2005	-18.01	1945	-4.41	2160
0	2050	-13.21	1980	-3.21	2195
		-4.21	2010	-4.41	2225
		-3.71	2045	-3.21	2250
		-4.21	2065	0	2270
		-4.21	2085		
		0	2115		

Tabla B.25 Datos de las secciones transversales 19, 18 y 17 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

N° 19		N° 18		N° 17	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
0.19	20	-5.71	15	-7.21	15
-3.41	45	-6.91	30	-9.41	40
-3.51	70	-6.41	50	-8.81	75
-3.81	95	-5.41	75	-9.91	105
-4.11	125	-4.91	100	-9.11	135
-4.31	155	-5.51	130	-8.71	170
-4.61	180	-5.91	165	-9.61	200
-4.81	210	-6.31	200	-10.31	225
-5.21	240	-6.91	230	-10.21	260
-5.91	270	-6.91	265	-9.21	290
-6.21	300	-7.51	295	-9.61	320
-6.31	330	-8.51	330	-11.11	350
-6.71	360	-8.21	365	-11.71	380
-6.71	390	-10.01	395	-13.11	415
-7.41	420	-10.01	430	-13.81	445
-7.31	450	-10.11	465	-13.91	475
-6.81	480	-11.31	495	-14.01	505
-7.51	505	-11.71	530	-14.41	535
-8.21	540	-12.31	565	-17.91	565
-10.41	575	-12.11	600	-18.61	600
-11.21	605	-12.51	635	-19.31	630
-11.31	635	-13.51	670	-20.41	660
-12.41	665	-15.51	700	-18.11	690
-13.01	695	-17.71	735	-18.31	725
-12.71	725	-18.31	770	-20.21	750
-12.81	755	-16.81	805	-17.41	775
-14.51	785	-19.41	840	-17.31	805
-12.81	815	-21.51	870	-17.31	835
-12.41	845	-22.21	905	-18.31	865
-13.61	875	-18.01	945	-18.51	890
-14.81	910	-18.41	975	-19.61	925
-14.91	940	-18.51	1015	-21.31	950
-16.21	965	-17.61	1045	-22.51	975
-19.31	995	-18.91	1080	-22.81	1005
-17.21	1020	-20.31	1115	-23.51	1035
-16.01	1050	-22.11	1145	-24.31	1065
-17.31	1080	-24.21	1180	-24.41	1100
-19.91	1110	-25.81	1215	-22.41	1125
-20.21	1140	-24.71	1250	-21.61	1155
-22.01	1195	-24.41	1285	-21.21	1185
-23.81	1220	-22.21	1320	-22.51	1215
-26.41	1250	-21.71	1350	-20.11	1245
-23.71	1365	-22.71	1380	-18.81	1275
-25.21	1425	-22.81	1415	-18.31	1300
-26.51	1435	-23.71	1445	-18.91	1330
-26.11	1455	-22.71	1480	-20.61	1365
-26.61	1470	-20.71	1510	-21.11	1395
-24.41	1490	-19.21	1535	-19.81	1425
-22.61	1520	-20.81	1570	-17.61	1450
-22.61	1550	-23.61	1605	-17.11	1480
-22.21	1580	-23.31	1640	-18.51	1515
-21.21	1640	-24.31	1675	-19.31	1545
-21.81	1870	-25.01	1710	-17.81	1575
-22.31	1900	-24.61	1740	-17.21	1610
-22.01	1955	-21.21	1770	-18.01	1640
-17.91	1975	-20.41	1805	-21.61	1670
-11.91	1990	-13.51	1835	-21.31	1700
-3.61	2000	-3.21	1865	-19.11	1725
0	2020	-3.01	1880	-16.81	1760
		0	1900	-16.31	1795
				-15.01	1825
				-14.81	1850
				-12.11	1870
				0	1890

Tabla B.26 Datos de las secciones transversales 16, 15 y 14 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

N° 16		N° 15		N° 14	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-6.21	25	-5.01	20	-10.81	20
-9.81	45	-8.91	30	-13.51	35
-12.31	65	-11.61	60	-17.01	60
-11.91	85	-13.21	95	-17.31	85
-11.21	120	-14.41	125	-18.51	110
-10.71	150	-14.81	160	-19.11	145
-9.91	180	-15.31	250	-18.81	180
-10.31	215	-14.41	280	-19.61	210
-10.61	245	-15.31	315	-19.01	245
-10.21	280	-16.31	345	-20.61	280
-10.41	315	-17.81	400	-21.21	315
-10.71	345	-20.01	430	-22.01	345
-11.31	380	-18.71	460	-22.11	380
-13.81	415	-17.81	490	-21.91	415
-13.71	450	-19.81	550	-22.61	450
-14.91	480	-18.91	575	-20.91	485
-17.01	515	-17.11	610	-19.11	520
-19.71	550	-17.61	645	-18.91	555
-21.31	580	-17.71	670	-20.91	585
-18.01	615	-18.41	700	-18.11	620
-18.81	650	-16.61	730	-15.71	655
-19.81	685	-16.61	760	-16.81	690
-20.71	715	-17.11	790	-18.31	725
-19.11	750	-18.41	845	-18.71	760
-18.21	785	-19.41	875	-19.01	790
-18.11	820	-19.71	900	-19.51	825
-18.61	850	-19.81	930	-19.61	860
-19.31	885	-19.01	960	-16.91	895
-19.21	920	-16.71	1025	-16.71	995
-19.01	950	-17.91	1050	-18.81	1030
-19.41	985	-18.71	1080	-15.71	1065
-19.01	1015	-20.31	1110	-14.71	1095
-18.01	1050	-20.81	1145	-14.11	1130
-17.51	1085	-19.61	1175	-15.71	1205
-18.21	1120	-17.31	1210	-16.41	1240
-18.81	1150	-16.11	1230	-15.21	1260
-18.11	1180	-15.51	1260	-14.31	1295
-17.11	1210	-16.11	1320	-13.11	1430
-18.21	1240	-15.11	1350	-14.81	1525
-19.61	1270	-14.41	1380	-17.21	1590
-18.81	1305	-15.21	1410	-18.41	1620
-17.91	1330	-15.01	1440	-17.91	1650
-18.11	1365	-13.91	1470	-19.71	1715
-15.91	1400	-13.71	1500	-20.21	1745
-16.31	1435	-15.11	1565	-19.01	1775
-15.51	1470	-14.71	1600	-16.71	1805
-18.11	1500	-15.31	1630	-15.01	1835
-16.11	1530	-18.21	1655	-13.71	1865
-14.91	1565	-17.61	1685	-10.41	1895
-14.11	1600	-15.31	1715	-8.31	1925
-13.61	1635	-15.01	1795	-6.51	1955
-13.81	1670	-17.61	1830	-8.31	1990
-15.91	1700	-17.61	1885	-6.51	2025
-13.91	1730	-15.51	1895	-5.81	2090
-15.11	1760	-12.31	1985	-6.01	2120
-14.01	1790	-9.61	2015	-5.51	2150
-14.11	1820	-8.01	2045	-5.51	2185
-8.81	1855	-6.51	2075	-5.21	2285
-3.71	1890	-7.11	2220	-4.11	2315
-3.21	1925	-7.41	2250	-3.51	2350
-0.01	1960	-6.41	2280	-3.01	2380
-3.21	1980	-5.81	2370	-3.01	2390
-0.01	1990	-6.21	2400	0	2400
0	2005	-3.31	2545		
		-3.11	2555		
		0	2565		

Tabla B.27 Datos de las secciones transversales 13, 12 y 11 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

N° 13		N° 12		N° 11	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-10.01	15	-3.61	15	-8.71	15
-11.81	25	-10.31	35	-11.01	30
-14.51	45	-13.81	70	-14.01	55
-17.81	70	-14.41	95	-14.91	90
-18.31	100	-15.31	125	-15.71	115
-20.51	130	-16.21	155	-16.01	145
-22.61	165	-17.71	185	-16.01	175
-22.51	195	-18.71	275	-16.01	210
-19.91	225	-19.31	305	-15.41	245
-20.11	325	-16.61	335	-16.51	275
-20.61	355	-17.51	365	-16.71	310
-19.31	390	-18.01	390	-17.91	345
-18.81	420	-17.51	420	-18.91	375
-18.41	455	-17.31	450	-18.91	410
-17.21	520	-17.41	480	-18.01	445
-16.61	550	-16.61	510	-17.51	475
-16.71	585	-16.71	540	-16.41	510
-16.61	615	-16.41	575	-16.21	540
-16.91	650	-16.11	660	-15.81	575
-18.01	680	-16.11	690	-15.91	605
-19.31	715	-12.51	900	-16.01	640
-20.11	745	-13.31	930	-15.61	670
-16.01	775	-14.51	960	-15.11	705
-15.41	800	-15.31	1080	-15.11	735
-16.41	905	-12.31	1115	-15.01	770
-17.31	940	-13.31	1145	-16.91	800
-14.91	970	-12.71	1180	-14.11	870
-14.71	1000	-11.61	1215	-16.01	900
-15.71	1035	-11.61	1245	-16.81	930
-13.31	1065	-12.11	1280	-17.21	965
-13.51	1195	-11.71	1310	-15.31	1000
-13.71	1225	-12.31	1335	-12.91	1025
-14.21	1255	-12.71	1365	-12.41	1060
-14.01	1285	-12.81	1430	-13.21	1090
-13.61	1315	-13.61	1465	-14.31	1125
-13.51	1350	-11.21	1535	-13.11	1155
-13.41	1380	-14.31	1560	-12.61	1190
-14.11	1415	-13.91	1590	-11.91	1285
-14.51	1445	-12.91	1625	-10.21	1660
-13.21	1475	-12.91	1685	-9.41	1690
-13.11	1505	-11.71	1750	-10.01	1710
-15.41	1535	-11.31	1785	-11.31	1730
-13.31	1565	-14.21	1820	-10.01	1760
-15.91	1600	-13.61	1855	-11.01	1790
-15.81	1630	-12.91	1890	-10.11	1820
-14.61	1665	-12.81	1925	-12.51	1850
-14.11	1700	-13.21	1960	-10.71	1880
-14.21	1730	-12.81	1990	-10.21	1910
-15.01	1760	-13.21	2025	-11.11	2000
-15.71	1795	-14.01	2060	-14.01	2150
-15.81	1825	-14.71	2095	-13.71	2180
-15.71	1860	-18.41	2130	-12.71	2210
-15.61	1890	-13.61	2305	-12.71	2240
-15.71	1920	-12.61	2340	-15.81	2335
-15.61	1950	-10.81	2375	-15.71	2365
-14.91	1980	-8.51	2405	-18.11	2395
-14.61	2075	-7.11	2435	-6.61	2515
-13.51	2105	-6.11	2470	-5.71	2550
-12.41	2135	-4.81	2500	-5.21	2580
-10.91	2165	-3.41	2595	-5.51	2610
-2.31	2385	-3.41	2625	-4.71	2640
-1.81	2395	-3.31	2645	-4.11	2670
0	2400	0	2670	-3.31	2690
				-3.01	2700
				0	2715

Tabla B.28 Datos de las secciones transversales 10, 9 y 8 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

N° 10		N° 9		N° 8	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	2080
-11.11	15	-11.01	20	-6.21	2115
-12.91	40	-12.11	35	-6.51	2150
-12.01	70	-13.01	55	-6.11	2185
-12.11	95	-12.31	85	-5.61	2220
-14.01	175	-12.31	115	-5.81	2255
-13.71	205	-13.91	290	-5.01	2290
-14.11	240	-14.61	320	-5.11	2320
-14.51	270	-17.01	355	-4.61	2355
-15.21	350	-16.11	390	-4.81	2390
-15.91	375	-15.41	425	-5.11	2420
-17.51	400	-15.91	460	-5.11	2455
-18.51	485	-15.41	560	-5.61	2485
-17.91	515	-15.01	595	-5.71	2520
-18.01	540	-16.21	630	-6.31	2555
-17.51	570	-16.61	665	-5.71	2585
-16.91	600	-16.81	700	-6.11	2620
-16.41	630	-17.11	730	-6.41	2655
-16.91	660	-15.01	765	-6.81	2685
-17.91	740	-12.81	910	-6.81	2685
-14.81	770	-12.91	940	-7.11	2715
-14.31	800	-13.91	975	-7.01	2745
-15.01	825	-13.51	1010	-7.31	2780
-15.41	855	-12.21	1045	-7.31	2815
-13.41	885	-11.91	1075	-7.41	2845
-13.91	980	-12.71	1110	-7.61	2880
-14.41	1010	-12.11	1145	-7.61	2910
-15.61	1040	-10.71	1175	-8.01	2945
-15.71	1070	-10.31	1210	-8.21	2975
-10.41	1100	-10.91	1245	-8.31	3010
-11.71	1185	-11.71	1275	-8.31	3045
-13.01	1215	-12.31	1310	-8.31	3080
-13.41	1240	-11.81	1340	-8.91	3110
-10.61	1275	-9.41	1375	-8.51	3145
-10.71	1305	-9.61	1405	-8.61	3175
-11.21	1430	-9.91	1440	-8.31	3210
-9.81	1460	-10.01	1470	-9.31	3245
-9.81	1490	-7.91	1500	-9.01	3275
-10.01	1520	-8.11	1535	-9.61	3310
-10.61	1645	-8.91	1720	-9.61	3340
-10.31	1680	-9.31	1750	-9.21	3375
-10.51	1710	-9.21	1785	-8.71	3405
-10.11	1740	-9.11	1815	-7.91	3440
-11.11	1775	-9.21	1845	-6.41	3475
-10.91	1805	-10.11	1875	-8.11	3510
-11.81	1840	-9.51	1910	-11.11	3545
-10.91	1870	-9.41	1940	-11.21	3580
-11.81	1900	-8.71	1970	-11.51	3615
-9.71	1935	-9.31	2000	-12.11	3650
-9.61	1965	-10.21	2180	-12.81	3685
-11.11	2000	-9.11	2210	-13.51	3720
-10.61	2030	-9.41	2330	-14.81	3755
-9.61	2155	-11.01	2360	-16.21	3790
-10.01	2190	-11.01	2510	-19.11	3825
-10.51	2225	-11.41	2540	-16.91	3860
-9.51	2255	-12.01	2570	-18.01	3895
-14.61	2420	-12.21	2600	-19.41	3930
-15.41	2455	-12.81	2630	-21.31	3965
-14.51	2485	-17.41	2870	-23.21	4000
-16.11	2520	-18.61	2900	-22.11	3985
-16.81	2550	-19.81	2915	-20.51	4020
-6.51	2770	-22.71	2940	-11.81	4055
-4.81	2870	-12.11	2960	-5.21	4085
-4.31	2885	-4.21	2985	-4.51	4120
-3.51	2895	-4.11	3005	-3.31	4145
0	2910	-3.61	3020	-3.31	4170
		-3.41	3030	0	4190
		0	3045		
		0	3060		

Tabla B.29 Datos de las secciones transversales 7, 6 y 5 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco. (Planos batimetricos 2001).

N° 7		N° 6		N° 5	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-5.11	10	-3.81	15	-3.91	20
-2.61	20	-3.81	25	-3.81	30
-2.41	45	-3.71	40	-3.91	60
-2.51	60	-3.81	60	-4.11	95
-2.91	85	-3.71	85	-4.31	125
-3.01	115	-4.01	110	-4.71	175
-3.31	140	-4.21	135	-5.01	185
-3.61	170	-4.61	165	-5.41	215
-4.01	200	-4.71	195	-6.01	245
-4.31	230	-5.21	225	-6.61	275
-5.01	255	-5.51	255	-7.21	310
-5.51	285	-5.91	280	-7.31	340
-5.71	315	-6.21	315	-7.61	370
-6.01	345	-6.71	345	-7.91	400
-5.91	375	-7.01	375	-8.11	430
-6.11	405	-7.21	405	-8.21	460
-6.51	435	-7.51	435	-8.81	490
-6.91	470	-7.91	470	-9.11	525
-7.01	500	-8.11	500	-9.31	555
-6.81	530	-8.21	530	-9.41	585
-6.91	560	-8.31	560	-9.51	615
-6.91	585	-8.41	590	-9.71	645
-7.21	615	-8.41	625	-9.81	675
-7.61	645	-8.81	655	-10.01	710
-7.61	650	-8.81	690	-10.61	740
-7.81	710	-8.81	715	-12.21	765
-8.41	740	-8.81	750	-13.21	800
-8.51	770	-9.11	780	-16.31	830
-8.11	800	-9.11	810	-19.31	860
-8.31	830	-8.21	845	-19.91	890
-8.01	855	-8.11	875	-21.01	920
-8.51	885	-8.11	905	-22.11	950
-8.91	920	-9.91	935	-23.11	975
-8.81	945	-11.81	965	-24.51	1000
-8.61	975	-13.51	1000	-25.51	1035
-9.11	1005	-15.21	1030	-25.81	1065
-9.41	1035	-16.41	1065	-23.51	1085
-8.61	1070	-16.91	1095	-23.01	1115
-8.61	1095	-17.51	1130	-23.41	1145
-9.11	1125	-18.91	1170	-25.31	1530
-10.81	1150	-20.41	1205	-22.51	1555
-11.31	1185	-22.11	1240	-8.71	1585
-11.71	1215	-23.61	1275	-6.51	1615
-12.51	1245	-21.51	1310	-6.31	1640
-14.31	1275	-21.81	1345	-5.81	1660
-17.51	1310	-22.71	1380	-5.11	1675
-18.41	1335	-23.51	1415	-4.61	1690
-17.81	1360	-21.71	1450	-3.81	1700
-17.71	1390	-6.61	1480		
-19.11	1415	-4.91	1515		
-21.11	1450	-3.61	1545		
-21.51	1480	-3.31	1555		
-19.31	1540	-3.21	1565		
-19.91	1570				
-21.81	1595				
-23.21	1620				
-25.01	1650				
-21.91	1675				
-9.21	1700				
-6.21	1725				
-5.11	1750				
-4.31	1770				
-3.91	1780				
-3.61	1790				
0	1800	0	1575	0	1715

Tabla B.30 Datos de las secciones transversales 4, 3 y 2 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

N° 4		N° 3		N° 2	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.	Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0	0	0	0	0
-5.01	15	-5.91	20	-8.51	15
-5.71	25	-6.81	40	-9.31	25
-5.91	45	-7.51	75	-9.61	40
-6.41	65	-8.01	105	-9.81	55
-6.41	85	-8.51	135	-9.91	70
-6.71	105	-8.51	165	-9.71	75
-7.01	130	-8.51	200	-10.11	85
-7.21	160	-8.61	225	-10.11	95
-7.21	185	-9.01	255	-10.21	115
-7.51	215	-9.61	285	-10.91	125
-7.91	245	-10.21	315	-11.31	140
-8.51	275	-11.01	345	-12.11	170
-8.91	310	-13.91	380	-13.51	200
-9.01	340	-15.21	410	-15.31	235
-9.41	370	-16.21	440	-17.11	265
-9.61	395	-18.61	470	-18.61	295
-10.01	430	-20.91	500	-20.21	325
-10.51	460	-21.51	530	-20.31	350
-11.61	490	-21.71	560	-21.51	390
-13.81	515	-22.71	590	-22.91	415
-16.51	550	-23.21	620	-23.11	445
-19.31	585	-26.41	650	-23.01	470
-21.71	615	-27.31	680	-22.71	495
-21.51	645	-26.81	710	-24.71	525
-21.61	675	-25.51	735	-25.01	560
-21.91	705	-22.91	765	-23.11	590
-22.81	740	-21.01	795	-21.31	615
-23.11	770	-19.71	825	-20.41	650
-22.31	800	-19.71	860	-20.11	680
-21.91	835	-20.51	890	-20.91	705
-21.11	865	-21.11	915	-21.91	730
-21.01	895	-14.61	935	-22.21	765
-20.71	925	-4.21	950	-18.61	795
-20.61	955	-3.41	965	-14.81	820
-18.71	990	-3.21	980	-4.81	845
-5.41	1020	0	990	-3.91	865
-2.61	1045			-3.51	875
-2.21	1070			0	895
0	1090				

Tabla B.31 Datos de la sección transversal N° 1 del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

N° 1	
Lectura Corregida	Distancia Acumulada.
0	0
-4.11	15
-5.31	25
-6.31	45
-6.61	65
-7.31	90
-8.31	125
-9.21	150
-10.41	185
-11.21	215
-12.51	245
-13.81	275
-15.11	305
-16.61	335
-17.81	365
-18.61	395
-19.31	425
-20.41	455
-21.71	485
-22.41	545
-21.11	575
-20.11	605
-20.11	630
-22.01	660
-22.51	690
-21.61	720
-24.51	750
-23.91	780
-23.71	805
-21.11	840
-16.51	865
-11.01	895
-3.31	915
-3.01	935
-2.81	945
0	0

Tabla B.32 Datos de las coordenadas UTM de las secciones transversales de los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

Coordenadas UTM Sector Araguaito			Coordenadas UTM Sector Sacupana		
Sección	Norte	Este	Sección	Norte	Este
48	958700	605925	22	952380	641500
47	958465	606365	21	952315	641905
46	958210	606800	20	952360	642430
45	958140	607210	19	952135	642680
44	957690	608010	18	951950	643155
43	958120	608420	17	951670	643570
42	958345	608920	16	951430	644015
41	958525	609400	15	951020	644360
40	958620	609990	14	950895	644855
39	958660	610495	13	950715	645430
38	958550	610980	12	950600	645920
37	958645	611450	11	950580	646430
36	958310	611705	10	950480	646915
35	958025	611985	9	950680	647485
34	957675	612350	8	949770	647750
33	957310	612695	7	949530	648210
32	956985	613065	6	949300	648670
31	956650	613435	5	949020	649090
30	956260	613750	4	948700	649465
29	955945	614140	3	948375	649840
28	955620	614530	2	948050	650240
27	955315	615050	1	947800	650690
26	955510	615500			
25	954930	616320			
24	954905	616840			
23	954985	617330			
22	955050	617830			
21	954985	618320			
20	955015	618725			
19	954785	619190			
18	954640	619660			
17	954440	620115			
16	954300	620610			
15	954080	621055			
14	953875	621510			
13	953645	621955			
12	953410	622400			
11	953110	622820			
10	953095	623380			
9	953055	623720			
8	952990	624210			
7	952760	624710			
6	952490	625130			
5	952190	625530			
4	951940	625950			
3	951750	626580			
2	951825	627170			
1	951945	627660			

Tabla B.33 Datos a utilizar para calcular el radio hidráulico de los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

Sector	Milla (mts)	Área (mts ²)	Perímetro Mojado (mts)	Radio Hidráulico
Sección de Aforo Jeborina Sur.	110.2	37577.15	3075.17	12.219536
Sección de Aforo Tórtola Norte	124.6	23404.43	890.31	26.287955

Tabla B.34 Datos a utilizar para calcular el movimiento incipiente de la partícula en el sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

Araguaito		Unidades
Peso Especifico del Agua (γ_{agua})	1000	kg-f/m ³
Densidad Del Agua (ρ_{agua})	102.041	kg-f/m ³
Profundidad Promedio (D)	4.43	m
Pendiente longitudinal del lecho (S)	0.001224658	
Diámetro medio de las partículas (d)	0.23	mm
Diámetro 90 de las partículas (d_{90})	0.48	mm
Viscosidad Cinemática del Agua (V)	0.000000806	m ² /s
Velocidad medio del Flujo	0.83	m/s
Coefficiente de rugosidad de Manning	0.042	

Tabla B.35 Datos a utilizar para la gráfica de Shields del sector Araguaito del canal de navegación del río Orinoco.

Modelo De Shields		
Esfuerzo Cortante	$\tau = \gamma_{\text{agua}} * D * S$	5.42523288
Velocidad de Corte	$U_* = (\tau / \rho_{\text{agua}})^{1/2}$	0.05316719
	$\sqrt{U_*} =$	0.23058011
N de reynolds límite	$Re_* = (U_* * d) / V$	65.798294
Esfuerzo Cortante Adimensional	$\tau / (\gamma_{\text{agua}} d)$	2.358796903

Tabla B.36 Datos a utilizar para calcular el movimiento incipiente de la partícula en el sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

Sacupana		Unidades
Peso Especifico del Agua (Y_{agua})	1000	kg-f/m ³
Densidad Del Agua (ρ_{agua})	102.041	kg-f/m ³
Profundidad Promedio (D)	4.43	m
Pendiente longitudinal del lecho (S)	0.00029474	
Diámetro medio de las partículas (d)	0.22	mm
Diámetro 90 de las partículas (d_{90})	0.69	mm
Viscosidad Cinemática del Agua (V)	8.06E-07	m ² /s
Velocidad medio del Flujo	0.99	m/s
Coefficiente de rugosidad de Manning	0.039	

Tabla B.37 Datos a utilizar para la gráfica de Shields del sector Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

Modelo De Shields		
Esfuerzo Cortante	$\tau = Y_{\text{agua}} * D * S$	1.305684211
Velocidad de Corte	$U^* = (\tau / \rho_{\text{agua}})^{1/2}$	0.113118001
N de Reynolds límite	$Re^* = (U^* * d) / V$	30.87588126
Esfuerzo Cortante Adimensional	$\tau / (Y_{\text{agua}} d)$	5.93492823

Tabla B.38 Datos a utilizar en el modelo de Van Rijn de los sectores Araguaito y Sacupana del canal de navegación del río Orinoco.

Sector	Parámetro crítico de Shields (θ_{cr})	Esfuerzo crítico cortante ($\tau_{b,cr}$)	Densidad del fluido (ρ) (kgf/m ³)	Densidad del material (ρ_s) (kgf/m ³)	Gravedad (g) (m/seg ²)	Diámetro (d_{50}) (m)	Profundidad del agua (h) (m)	Pendiente hidráulica (I)
Araguaito	1.7×10^1	5.3×10^1	1000	2410	9.8	0.00023	4.43	0.0012247
Sacupana	4.2×10^0	1.3×10^1	1000	2410	9.8	0.00023	4.43	0.00022

Apéndice C
Secciones transversales



Figura C.1 Sección transversal N° 48 ubicada en el sector Araguaito (Plano N°OODB5422 año 2001).

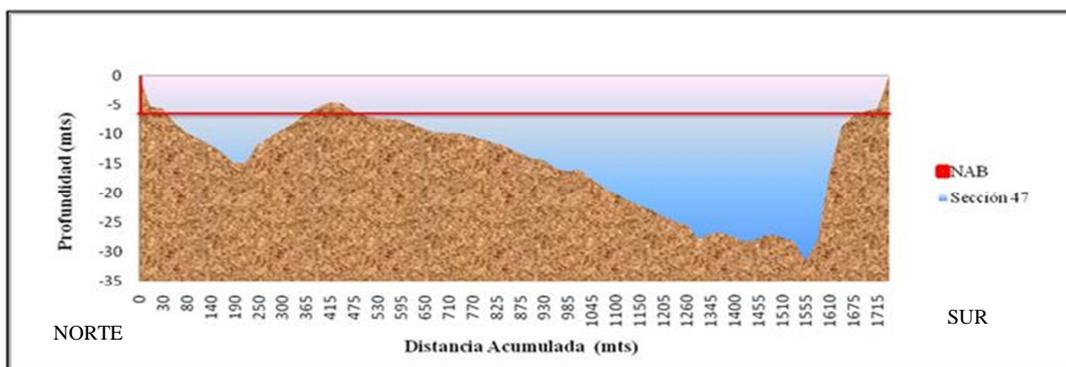


Figura C.2 Sección transversal N° 47 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).



Figura C.3 Sección transversal N° 46 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).

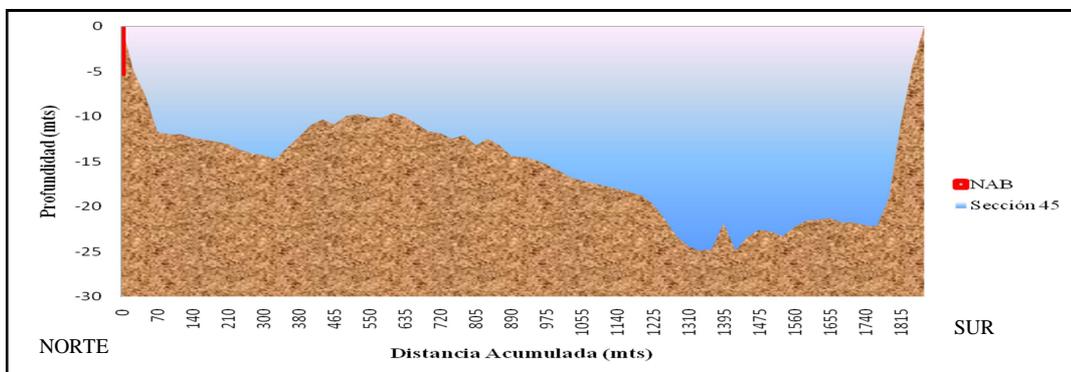


Figura C.4 Sección transversal N° 45 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).

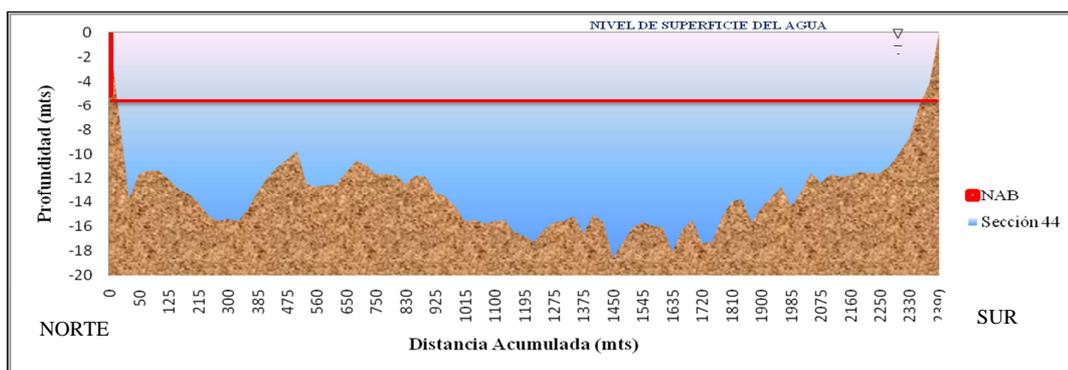


Figura C.5 Sección transversal N° 44 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).



Figura C.6 Sección transversal N° 43 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).



Figura C.7 Sección transversal N° 42 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).

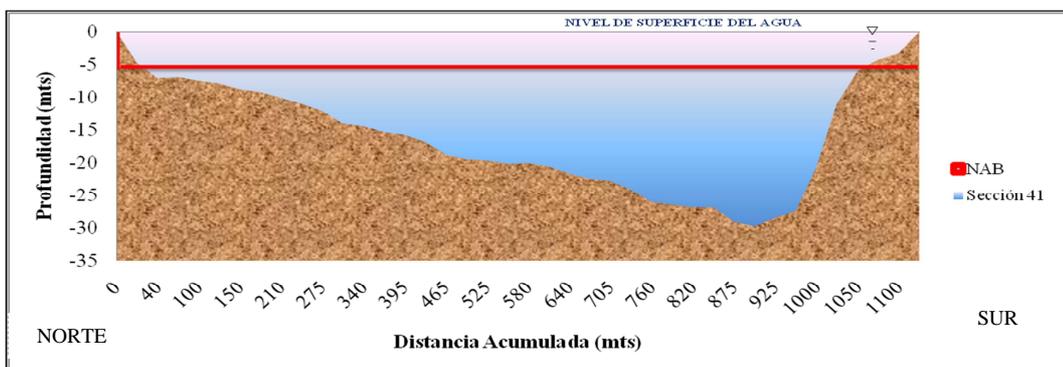


Figura C.8 Sección transversal N° 41 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).

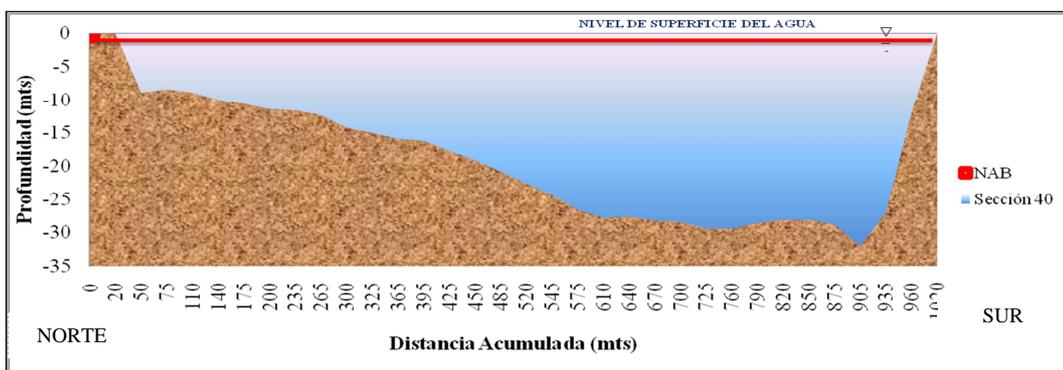


Figura C.9 Sección transversal N° 40 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N°OODB5422 año 2001).

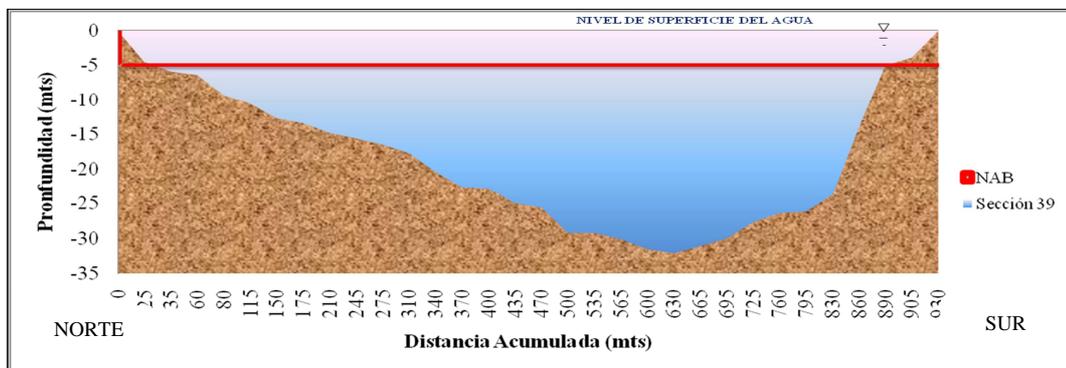


Figura C.10 Sección transversal N° 39 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

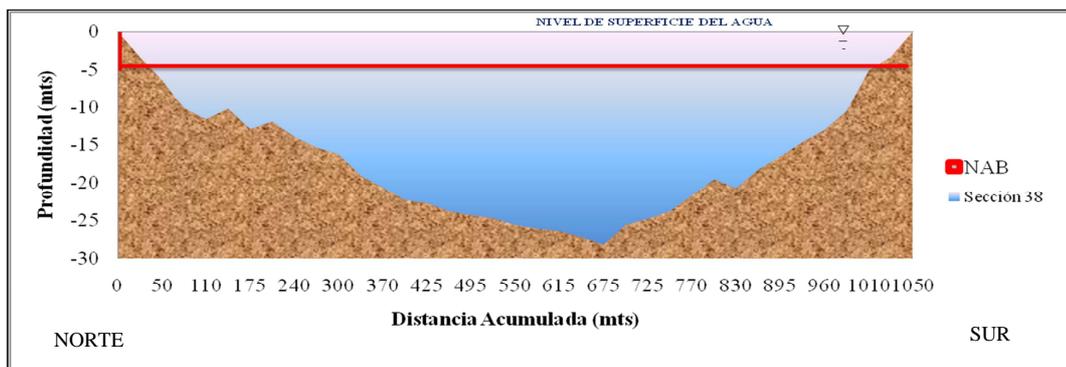


Figura C.11 Sección transversal N° 38 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

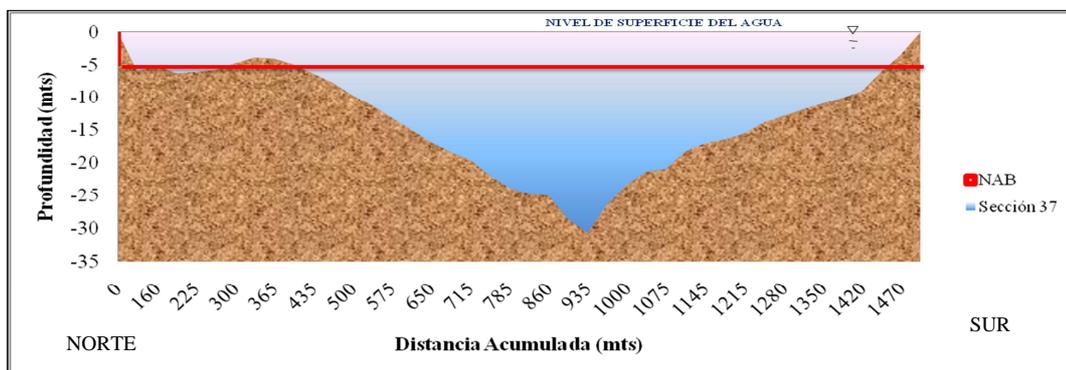


Figura C.12 Sección transversal N° 37 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

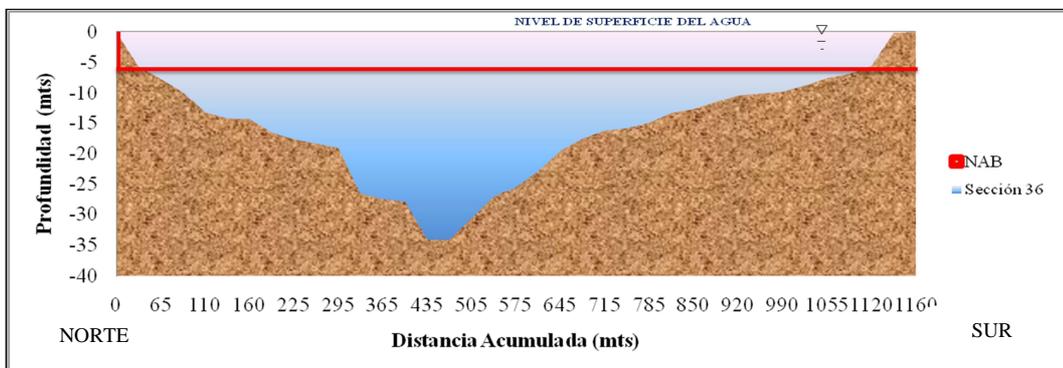


Figura C.13 Sección transversal N° 36 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

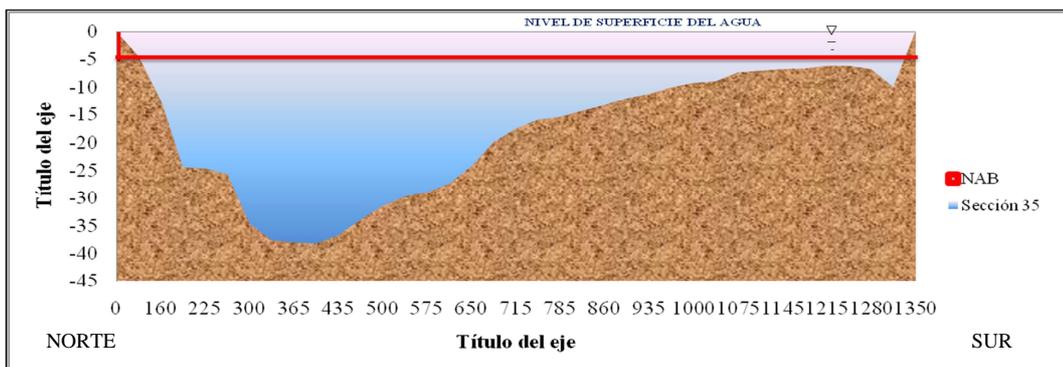


Figura C.14 Sección transversal N° 35 ubicada en el sector Araguaito (Plano N° OODB5422 año 2001).

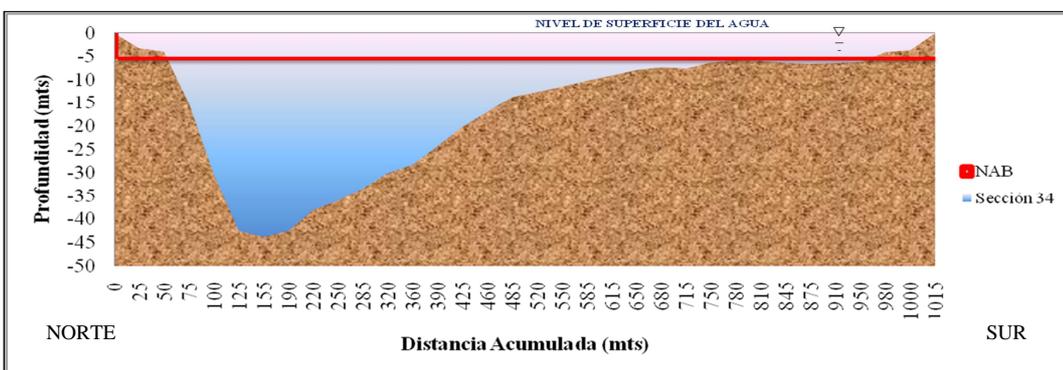


Figura C.15 Sección transversal N° 34 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

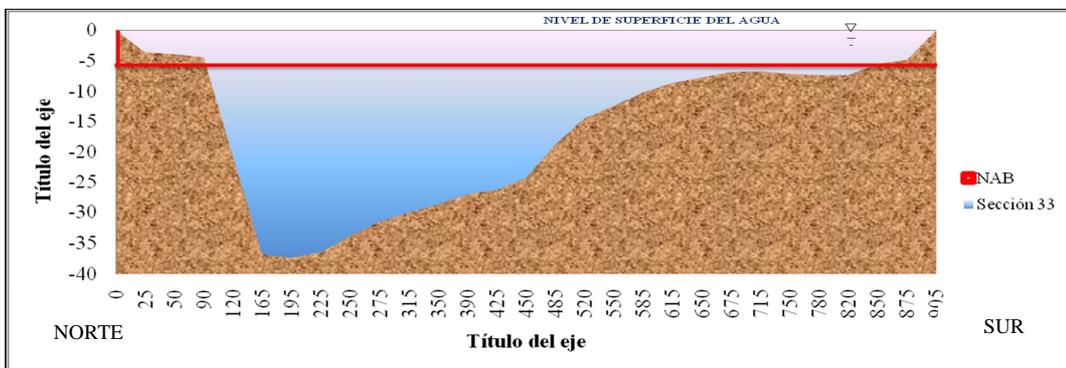


Figura C.16 Sección transversal N° 33 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

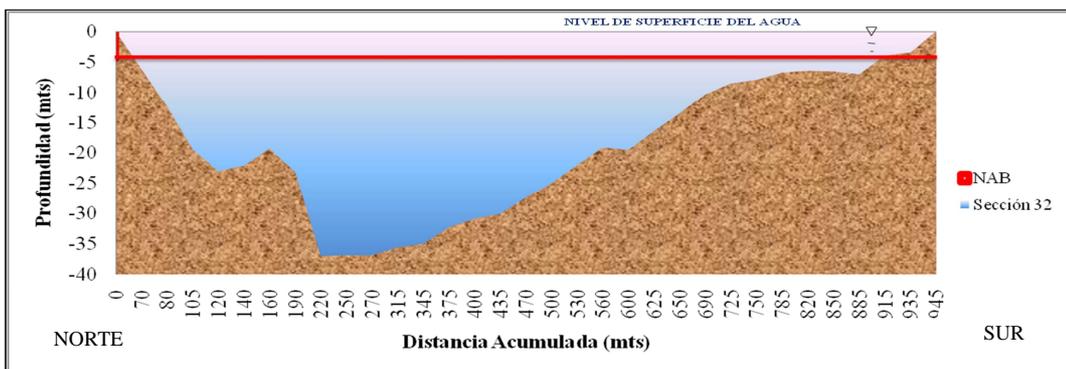


Figura C.17 Sección transversal N° 32 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

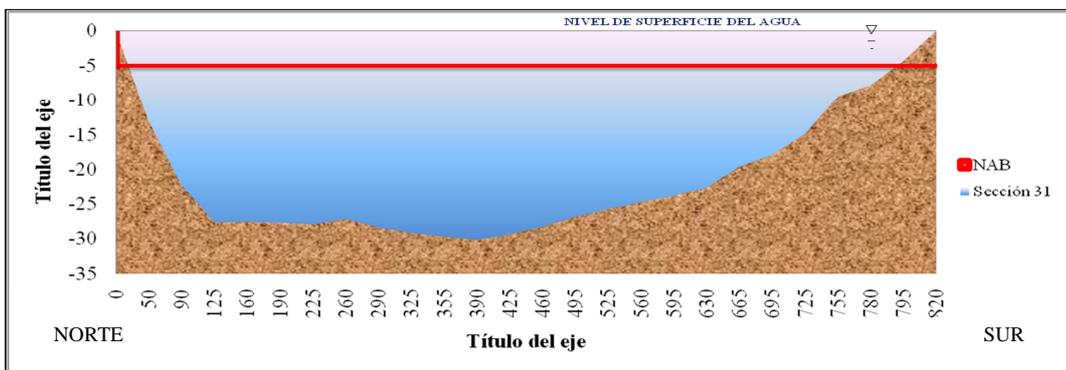


Figura C.18 Sección transversal N° 31 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

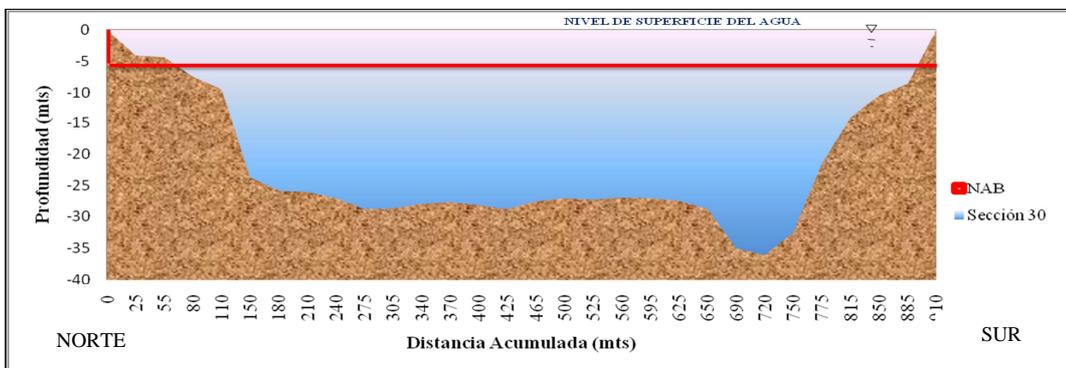


Figura C.19 Sección transversal N° 30 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

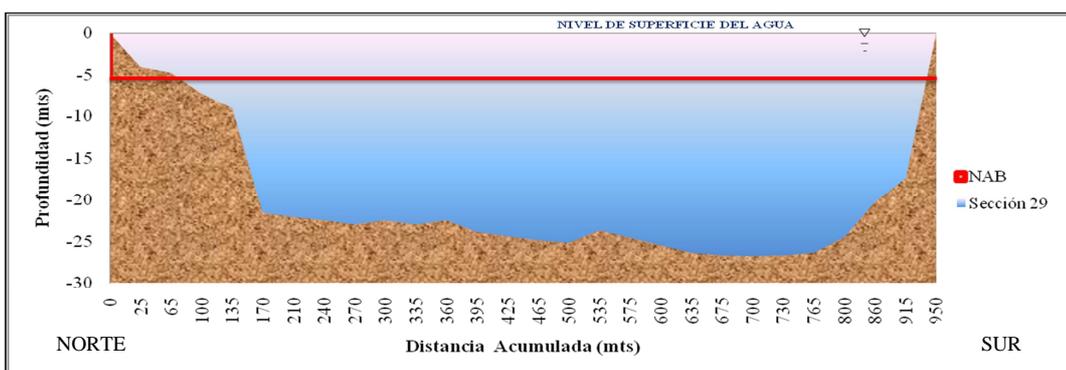


Figura C.20 Sección transversal N° 29 ubicada en el sector Araguaito, (Plano N° OODB5422 año 2001).

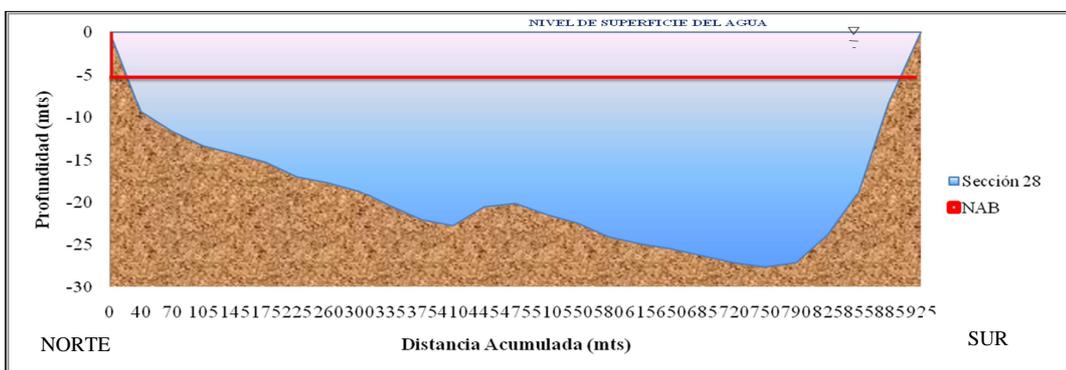


Figura C.21 Sección transversal N° 28 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

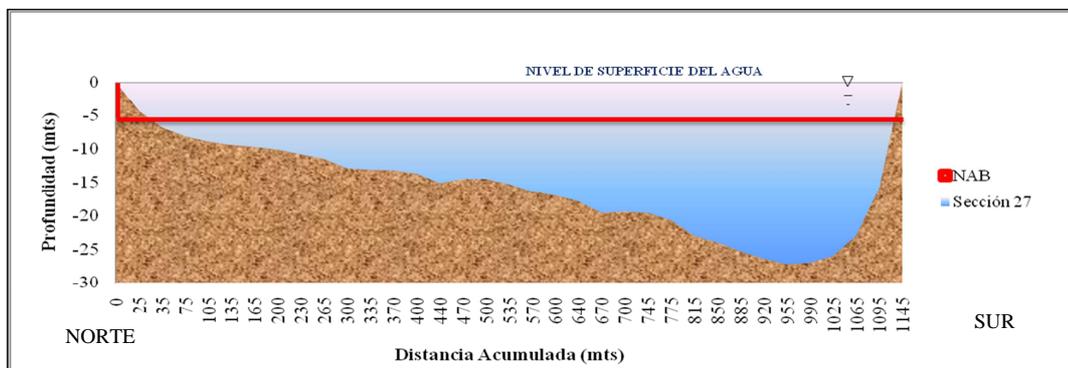


Figura C.22 Sección transversal N° 27 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

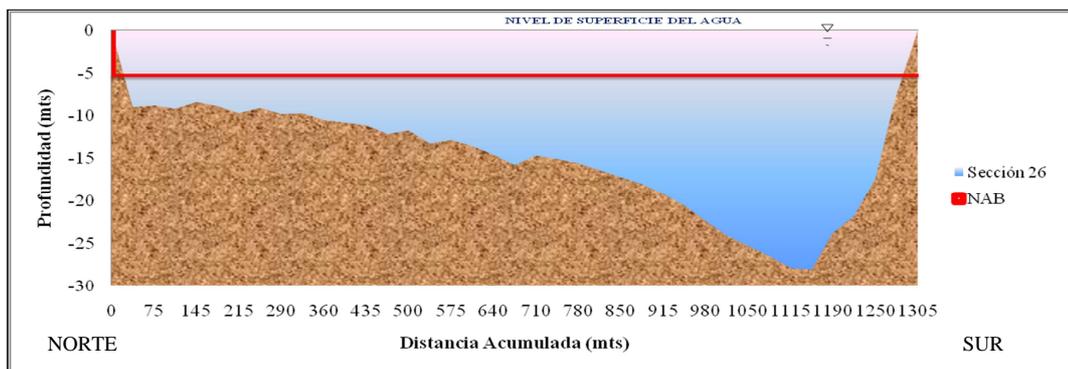


Figura C.23 Sección transversal N° 26 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

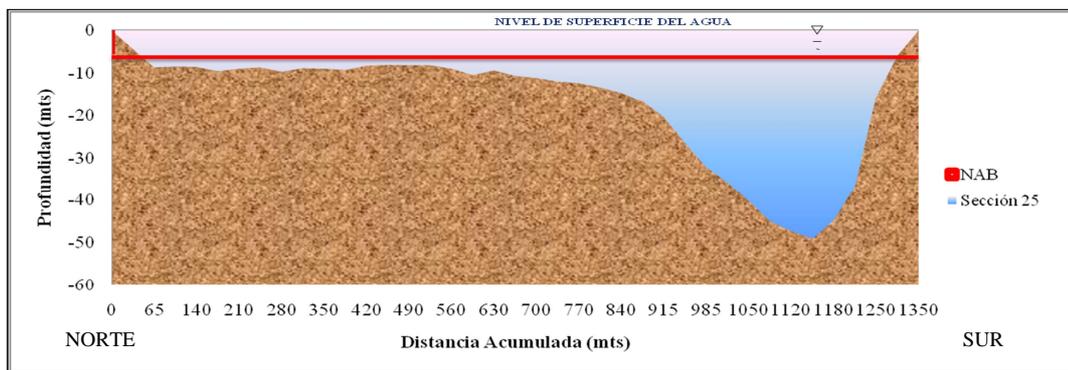


Figura C.24 Sección transversal N° 25 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

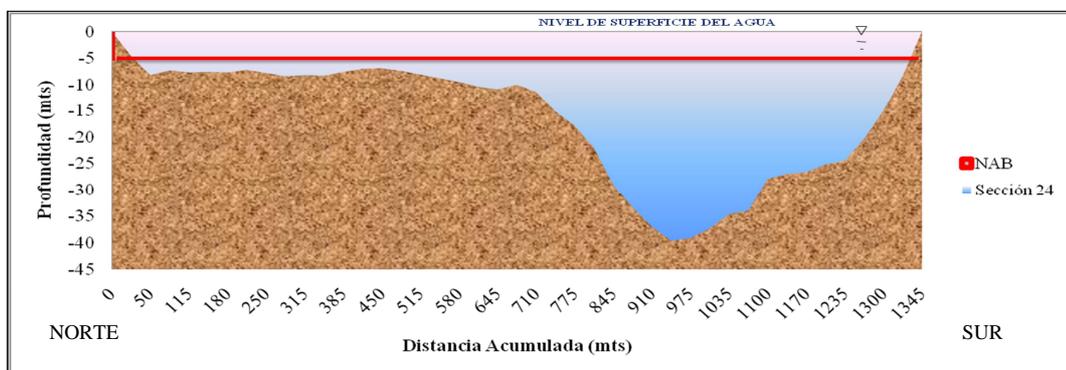


Figura C.25 Sección transversal N° 24 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

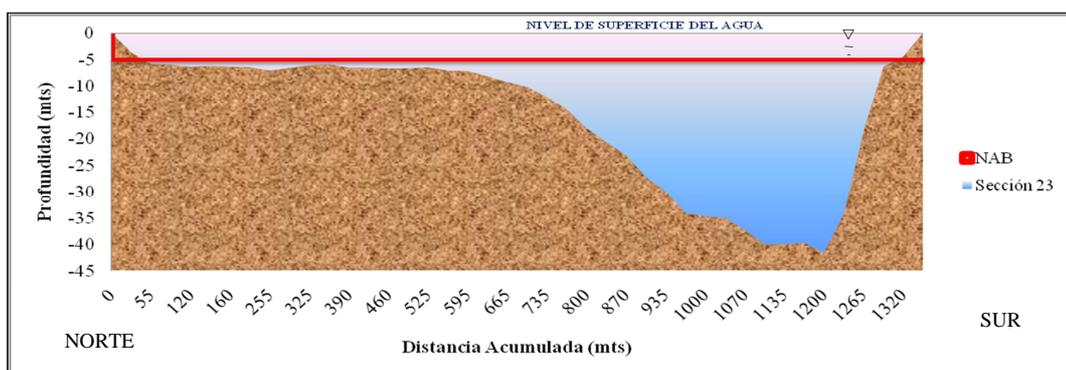


Figura C.26 Sección transversal N° 23 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

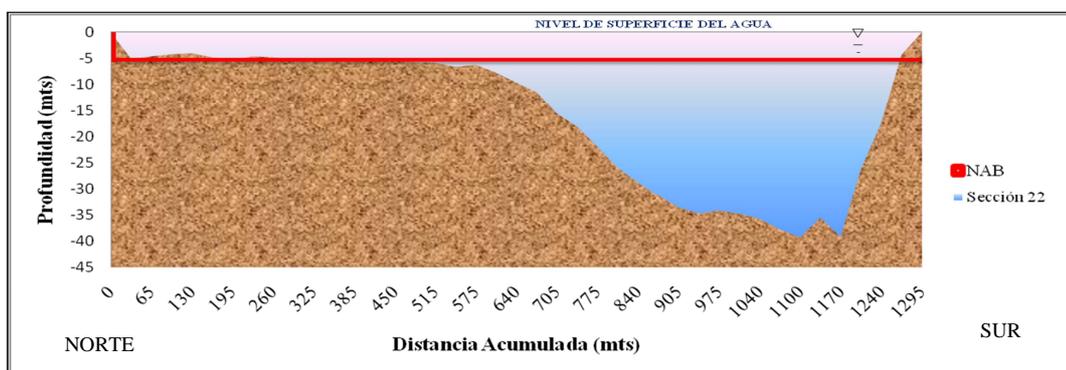


Figura C.27 Sección transversal N° 22 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

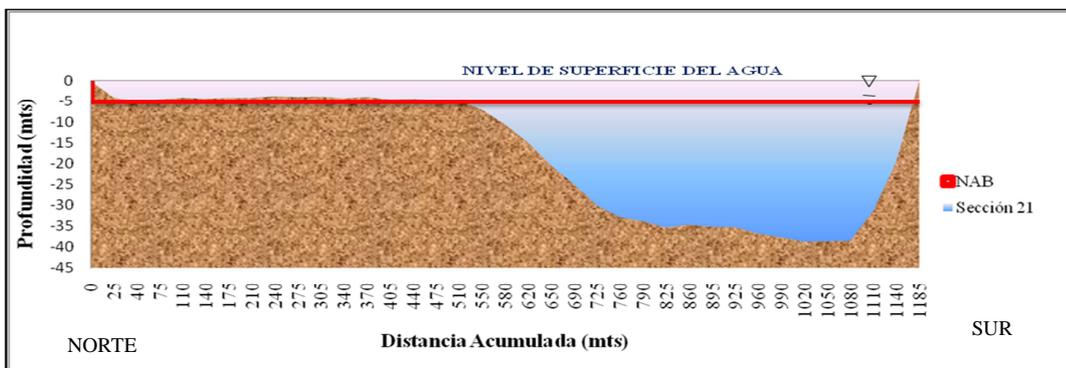


Figura C.28 Sección transversal N° 21 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.29 Sección transversal N° 20 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

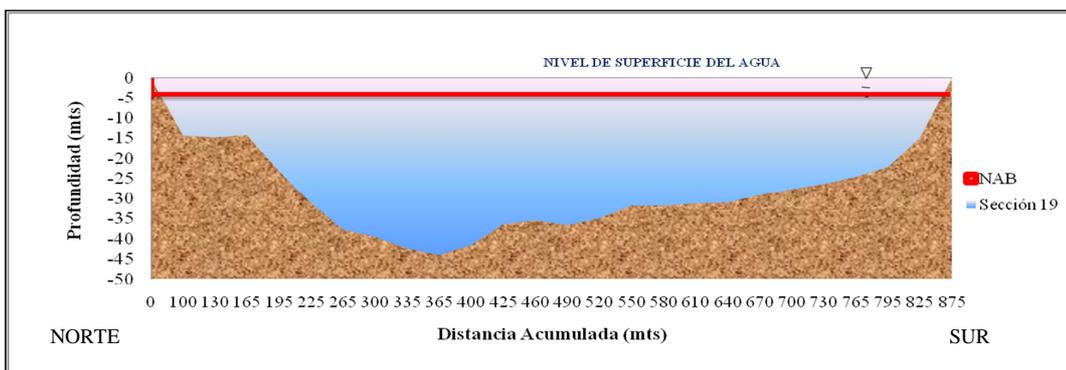


Figura C.30 Sección transversal N° 19 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.31 Sección transversal N° 18 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.32 Sección transversal N° 17 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.33 Sección transversal N° 16 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.34 Sección transversal ubicada N° 15 en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.35 Sección transversal N° 14 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

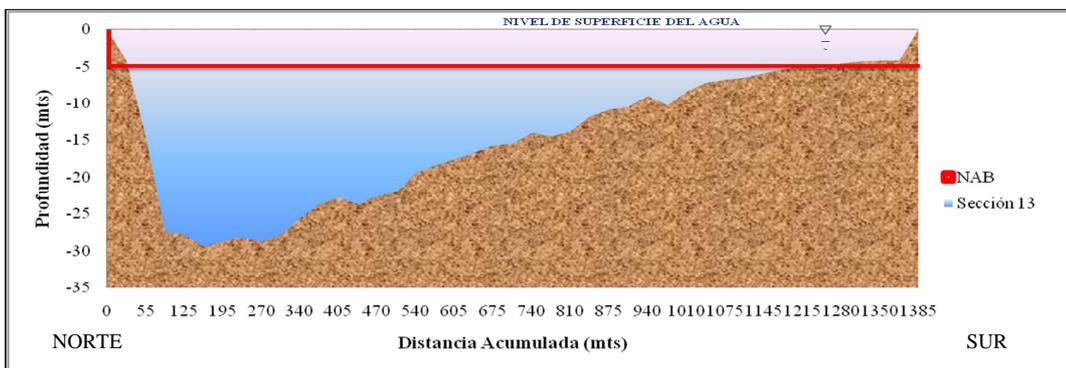


Figura C.36 Sección transversal N° 13 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.37 Sección transversal N° 12 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.38 Sección transversal N° 11 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

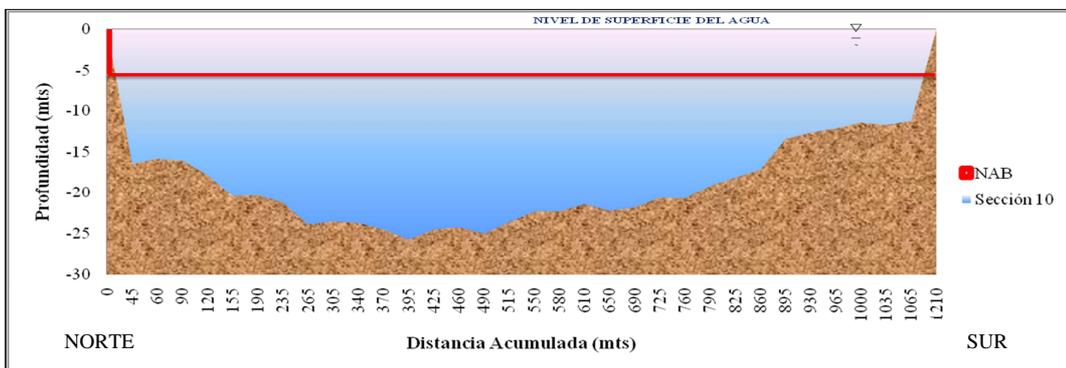


Figura C.39 Sección transversal N° 10 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

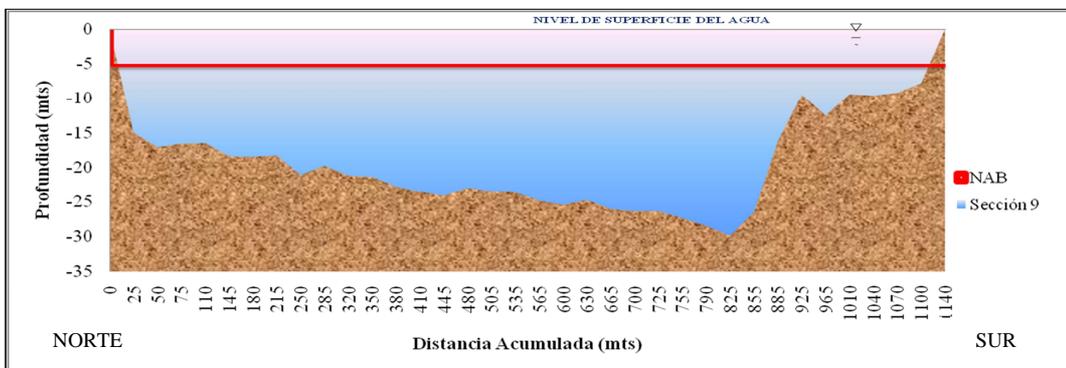


Figura C.40 Sección transversal N° 9 ubicada en el sector Araguaito, (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.41 Sección transversal N° 8 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.42 Sección transversal N° 7 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

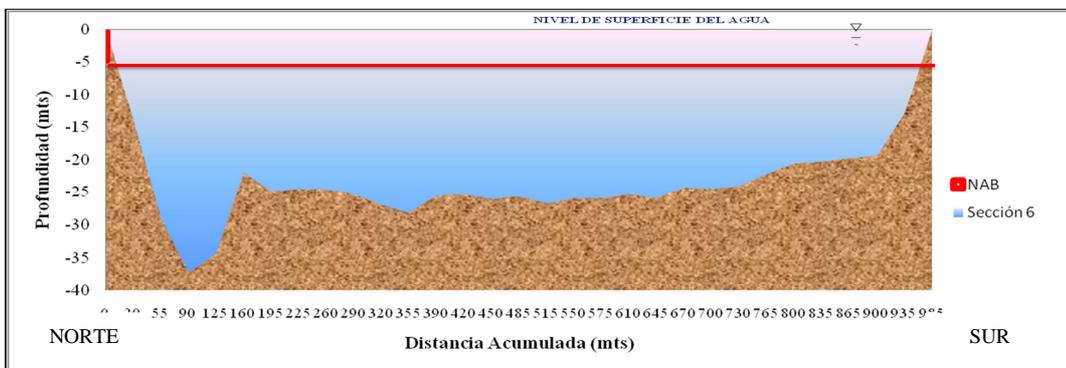


Figura C.43 Sección transversal N° 6 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

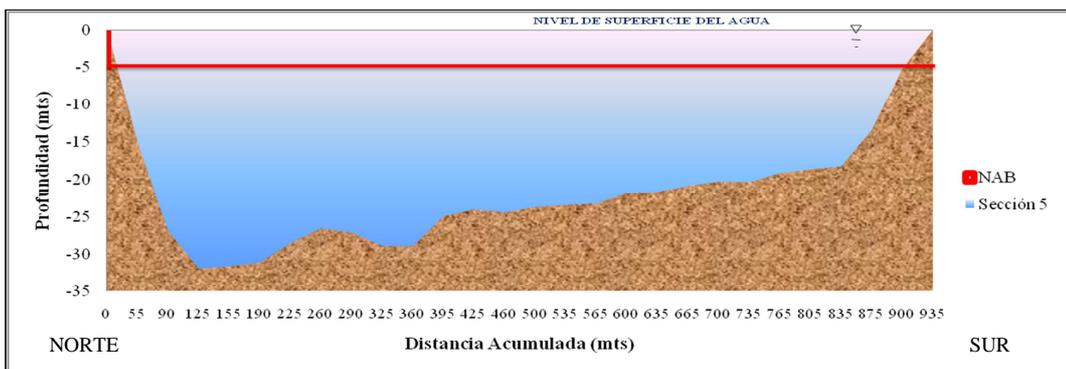


Figura C.44 Sección transversal N° 5 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.45 Sección transversal N° 4 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

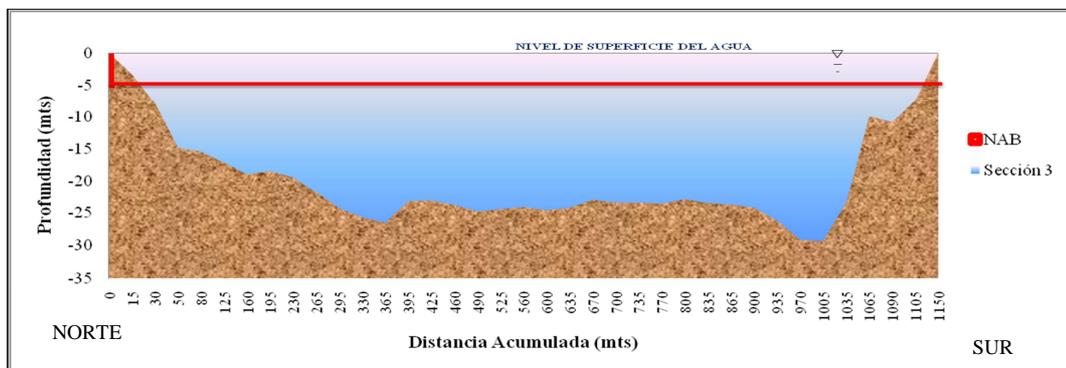


Figura C.46 Sección transversal N° 3 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

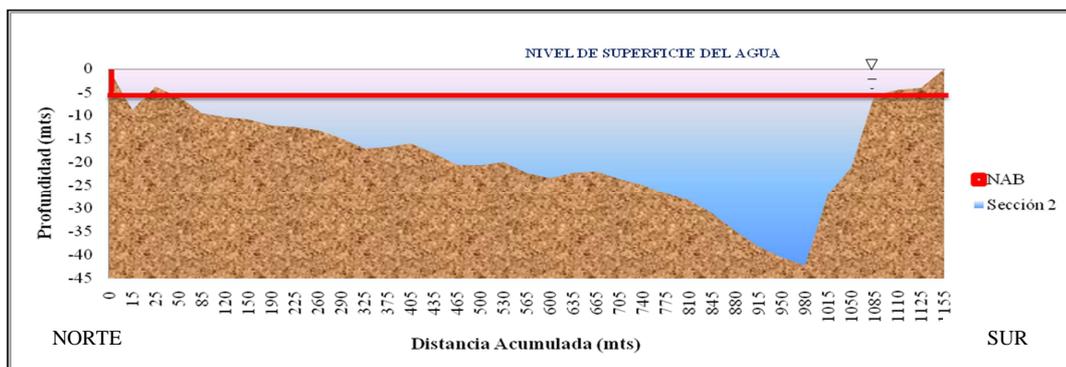


Figura C.47 Sección transversal N° 2 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).

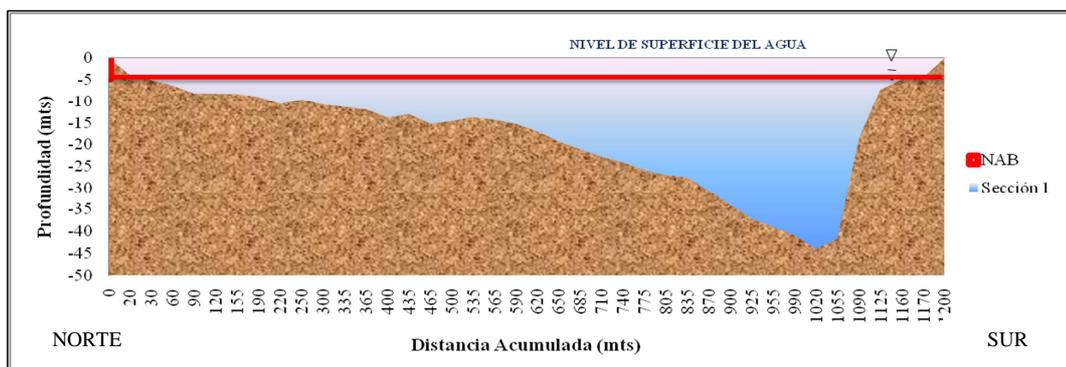


Figura C.48 Sección transversal N° 1 ubicada en el sector Araguaito. (Plano N° OODB5422 año 2001).



Figura C.49 Sección transversal N° 22 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).



Figura C.50 Sección transversal N° 21 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).



Figura C.51 Sección transversal N° 20 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

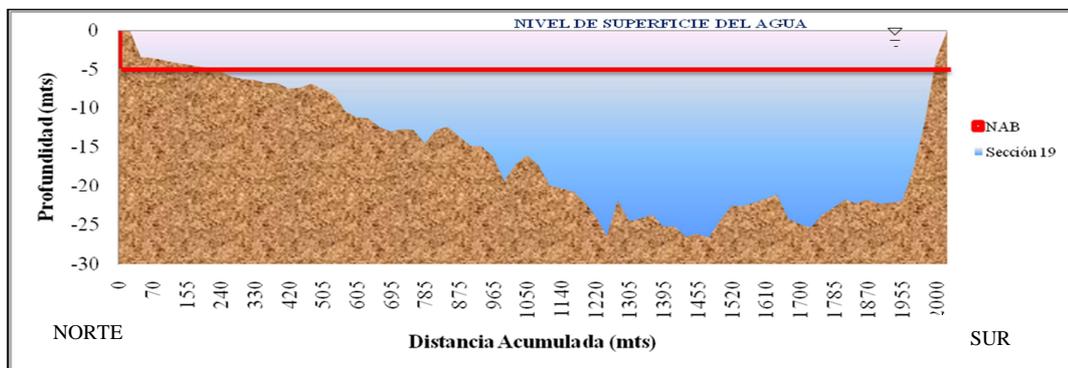


Figura C.52 Sección transversal N° 19 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

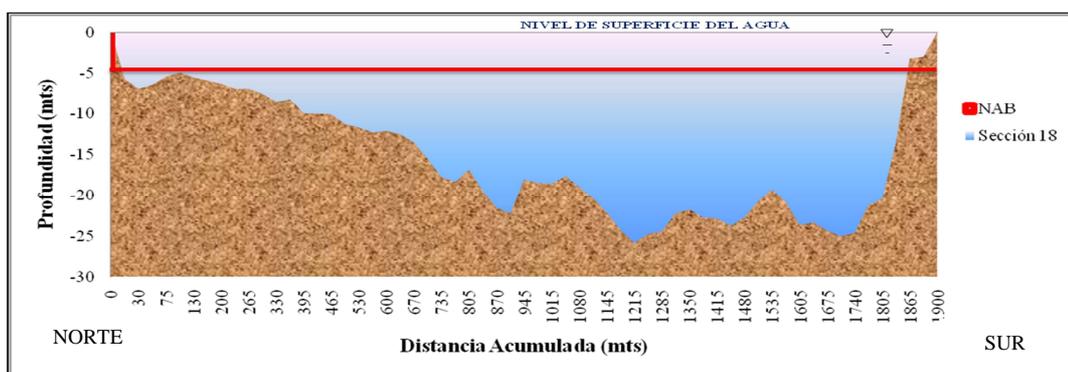


Figura C.53 Sección transversal N° 18 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

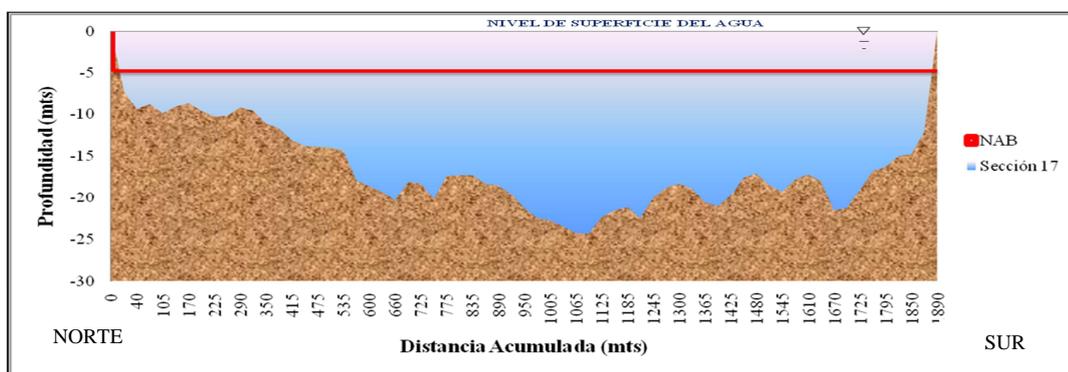


Figura C.54 Sección transversal N° 17 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

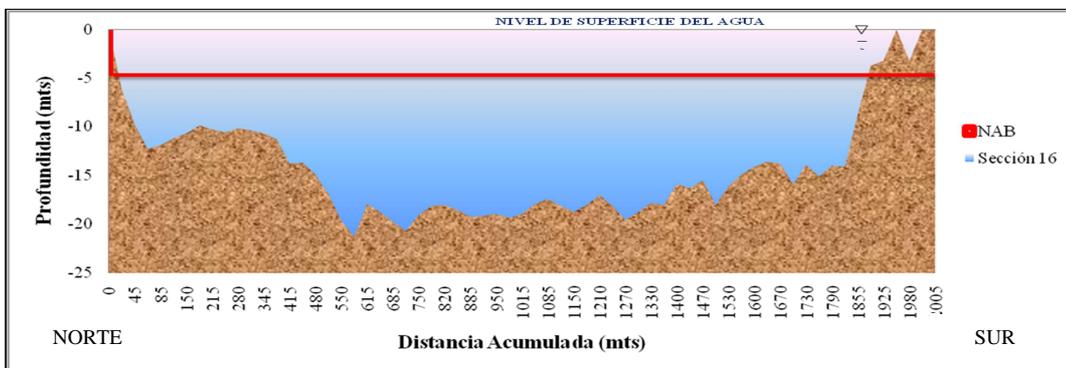


Figura C.55 Sección transversal N° 16 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

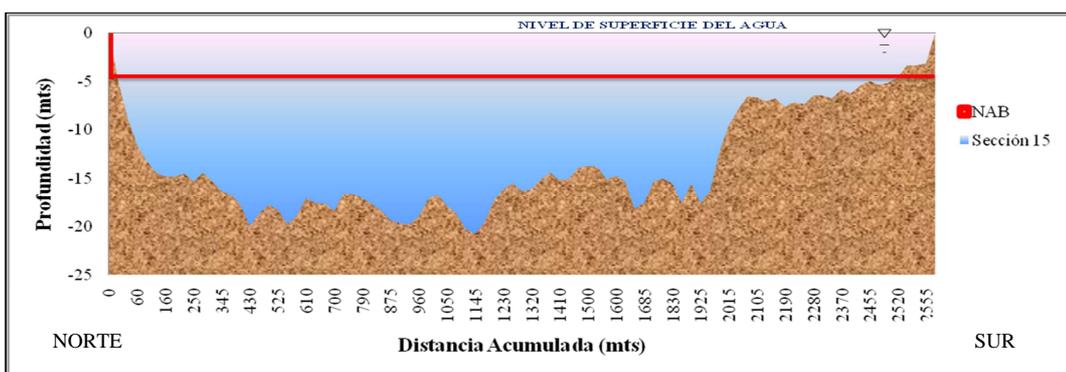


Figura C.56 Sección transversal N° 15 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

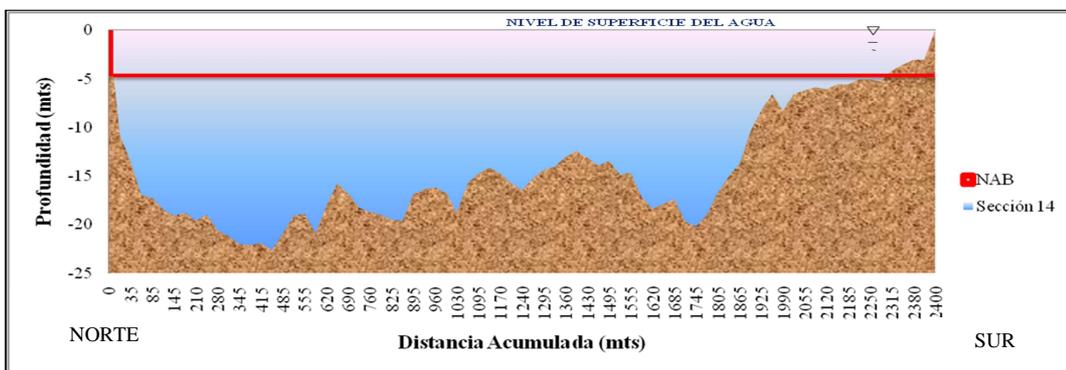


Figura C.57 Sección transversal N° 14 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

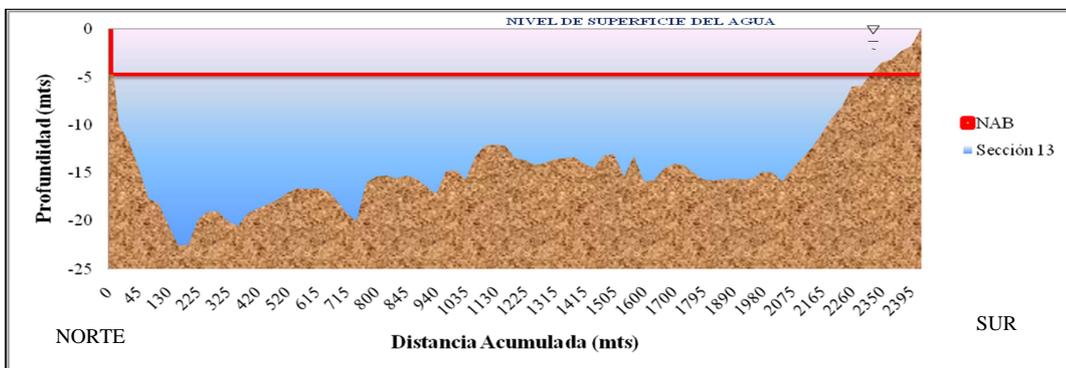


Figura C.58 Sección transversal N° 13 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).



Figura C.59 Sección transversal N° 12 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

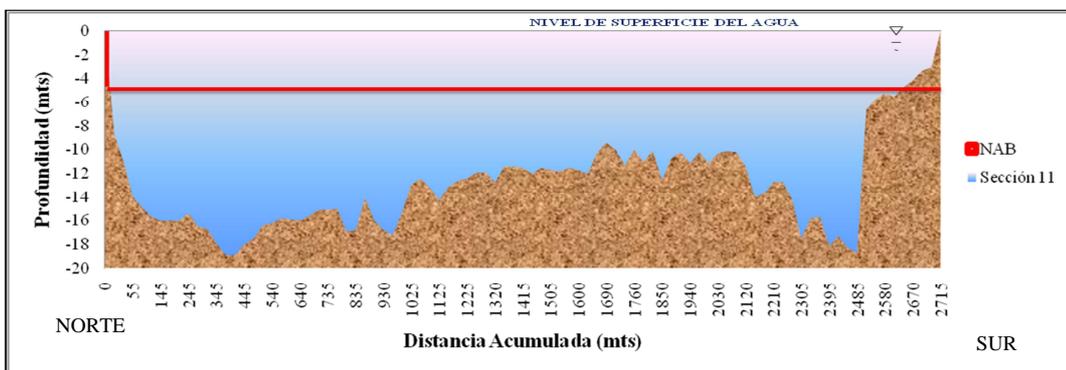


Figura C.60 Sección transversal N° 11 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

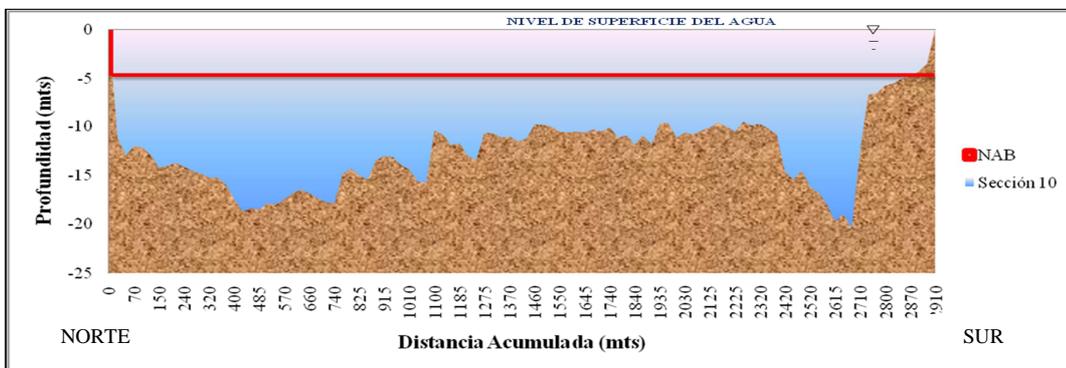


Figura C.61 Sección transversal N° 10 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

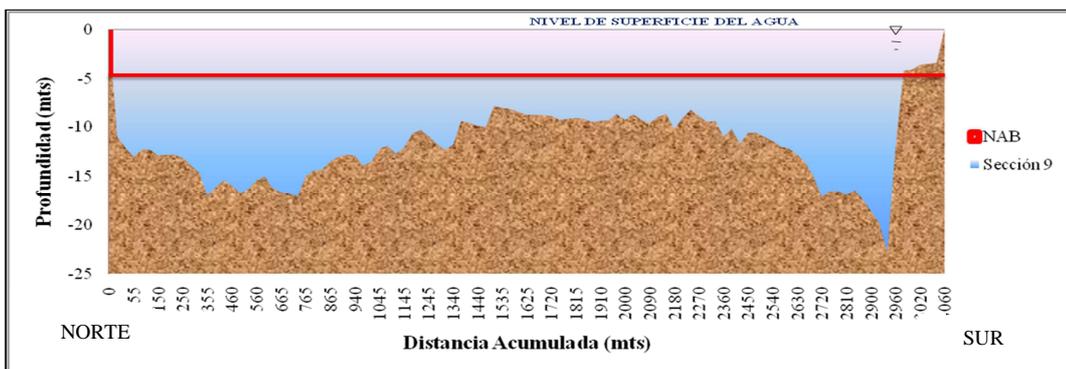


Figura C.62 Sección transversal N° 9 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).



Figura C.63 Sección transversal N° 8 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

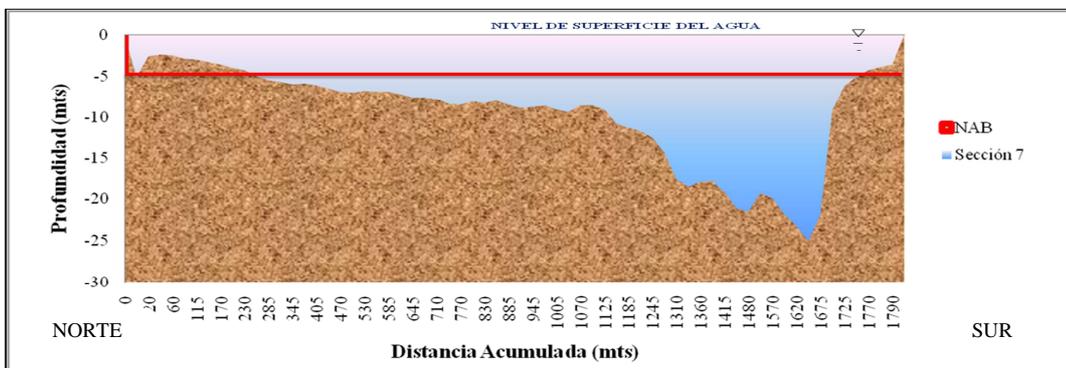


Figura C.64 Sección transversal N° 7 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

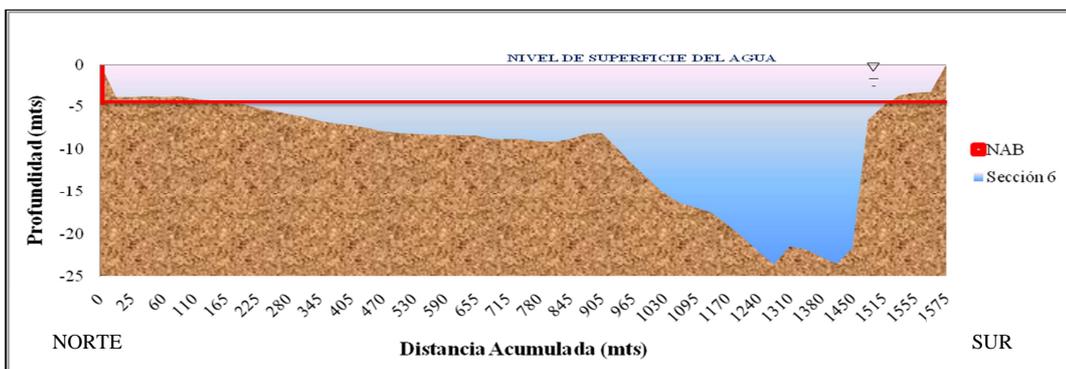


Figura C.65 Sección transversal N° 6 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

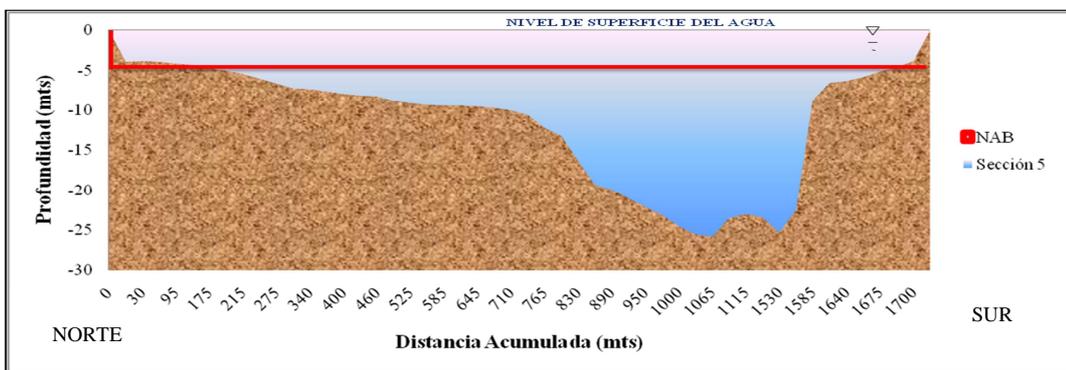


Figura C.66 Sección transversal N° 5 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).



Figura C.67 Sección transversal N° 4 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

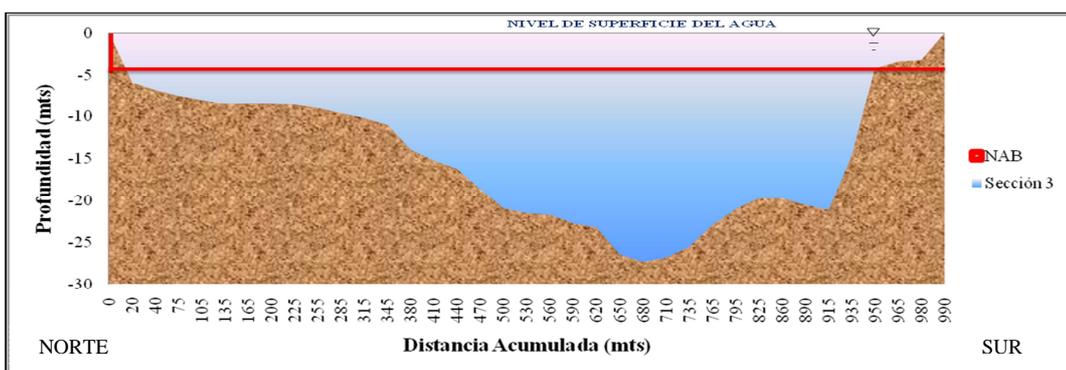


Figura C.68 Sección transversal N° 3 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

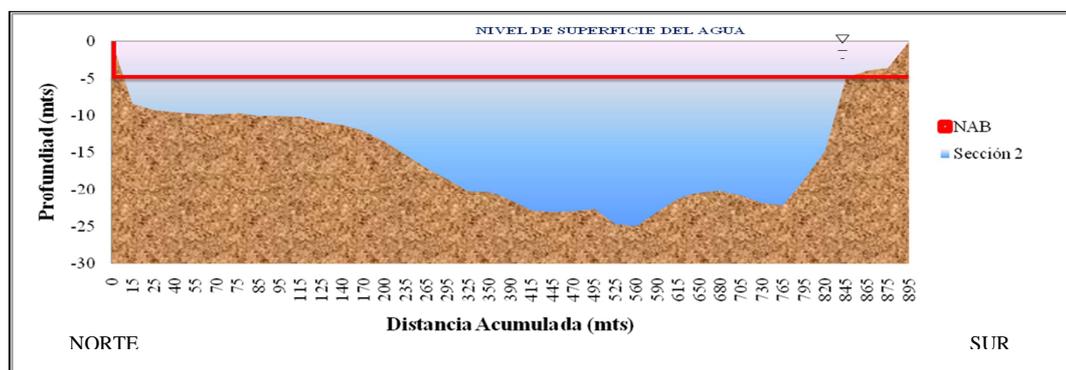


Figura C.69 Sección transversal N° 2 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

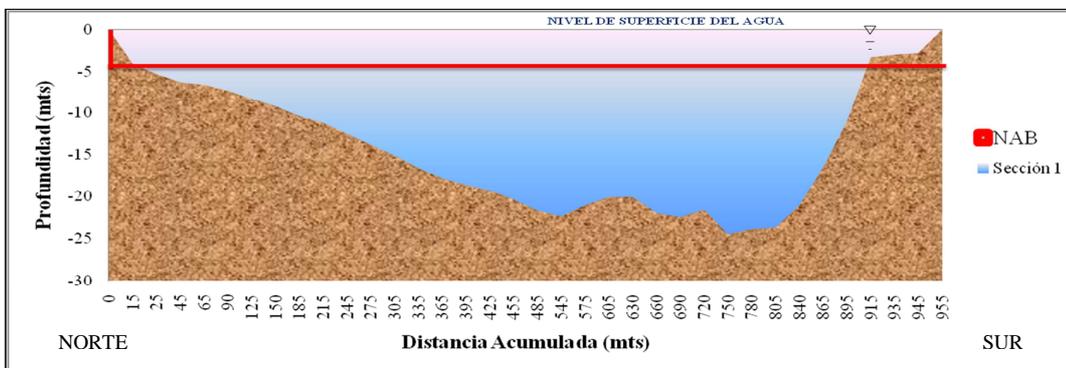


Figura C.70 Sección transversal N° 1 ubicada en el sector Sacupana. (Plano N° OODB5416 año 2001).

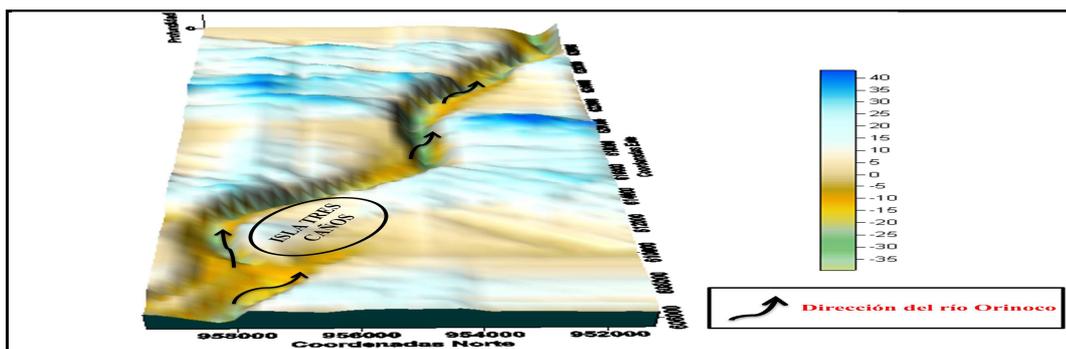


Figura C.71 Modelo 3D del lecho sector Araguaito del canal de navegación río Orinoco

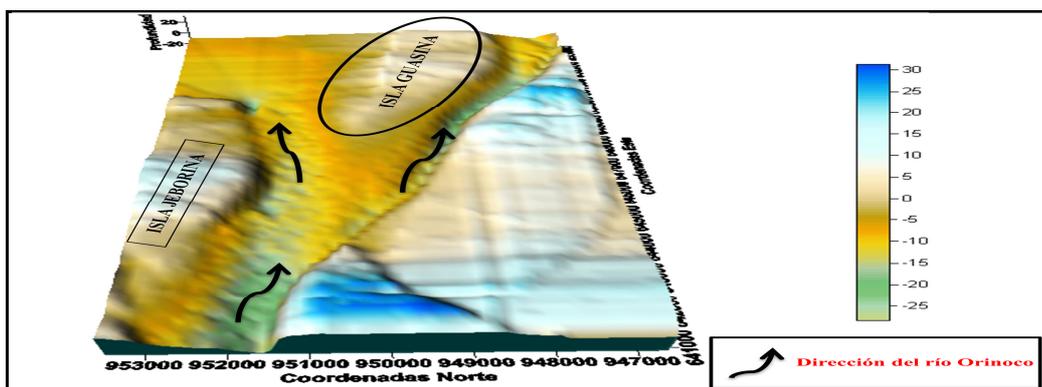


Figura C.72 Modelo 3D del lecho sector Sacupana del canal de navegación río Orinoco.

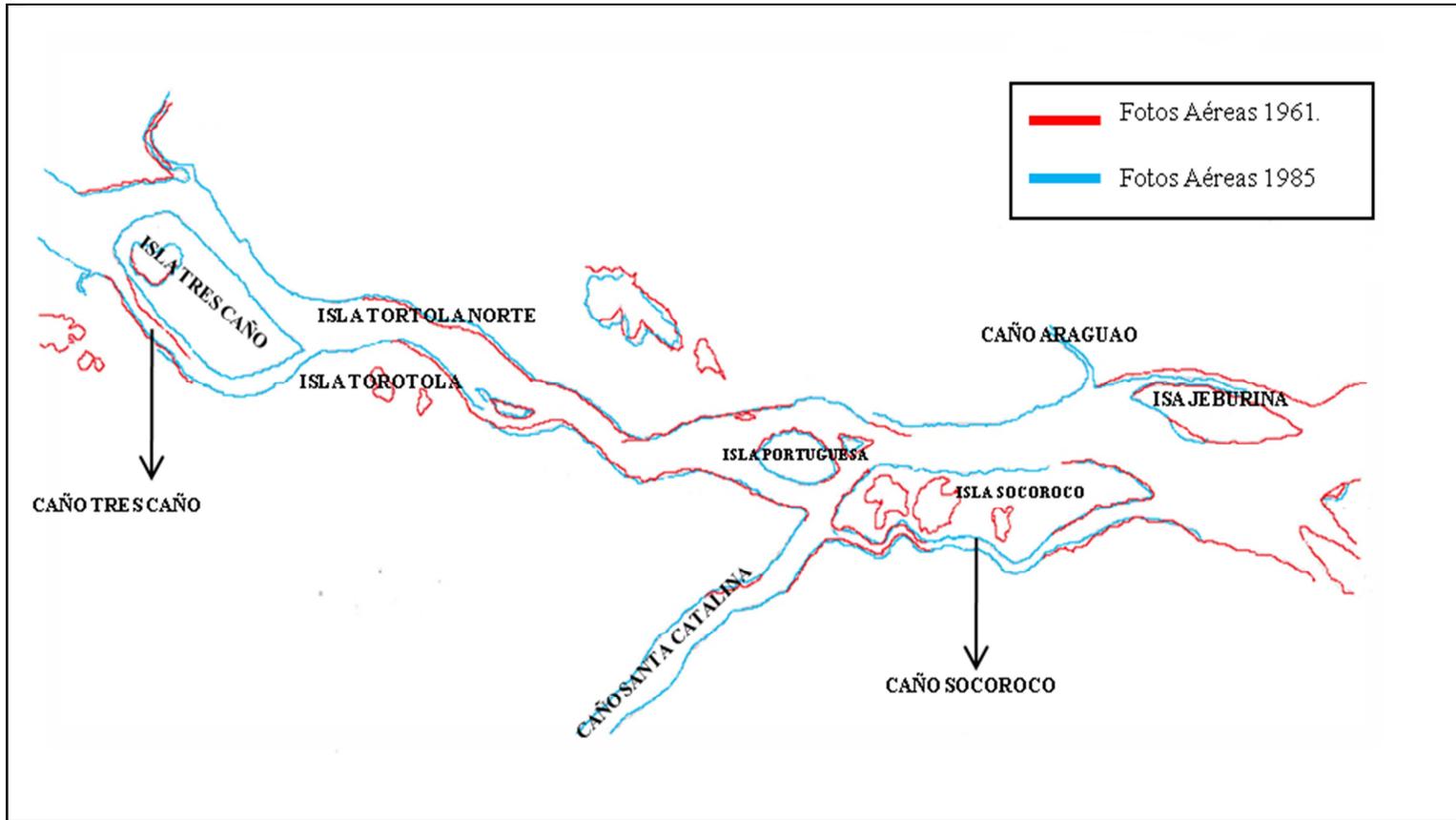


Figura C.73 Comparación de las fotografías aéreas de los años 1961 y 1985 correspondientes a las misiones VMAST5 y 0501270 respectivamente (Dpto. de Investigación del I.N.C.).

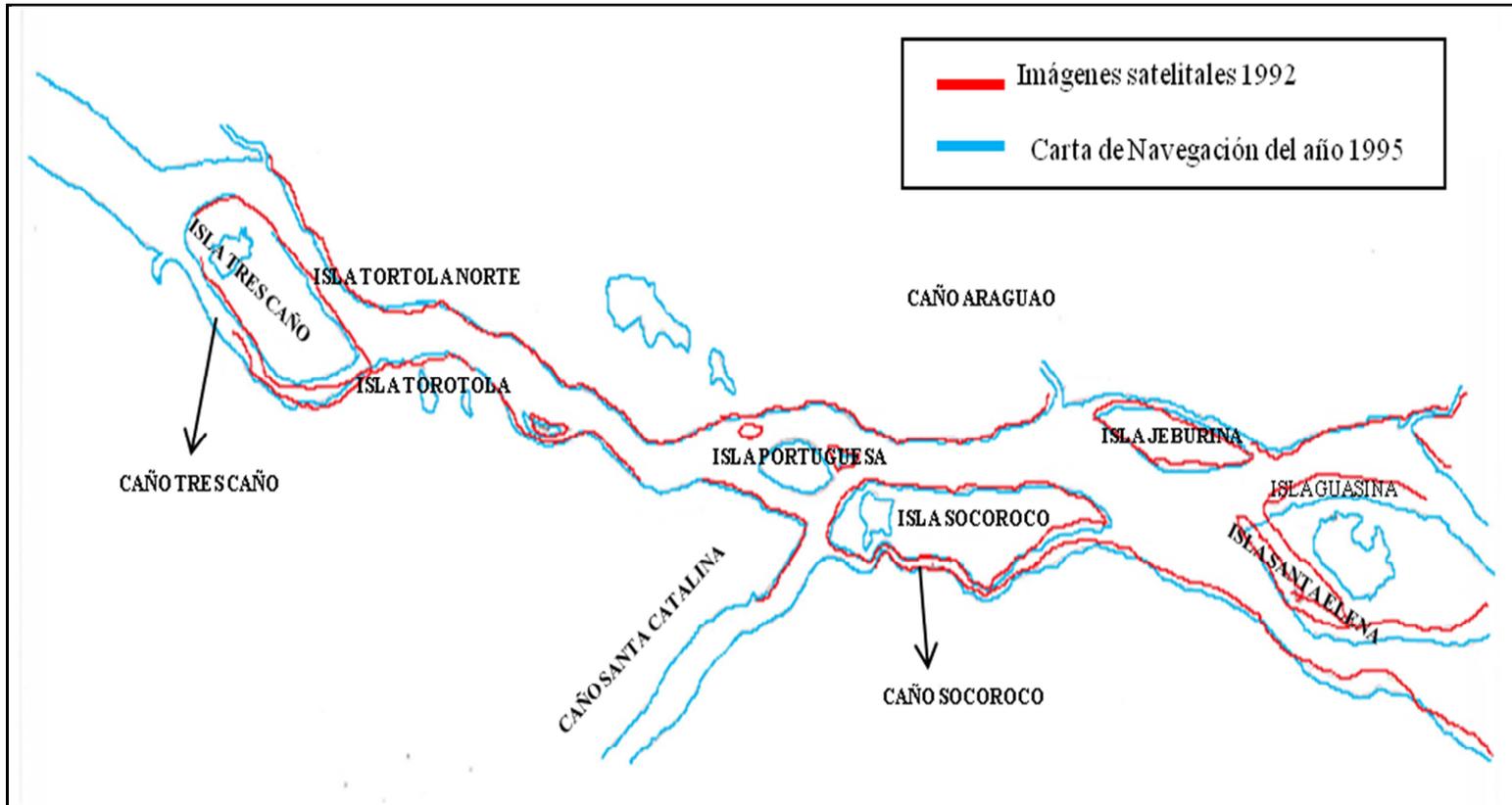


Figura C.74 Comparación de las imágenes satelitales del año 1992 y carta de navegación del año 1995 (Dpto. de Investigación del I.N.C).

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

Título	ESTUDIO DEL FLUJO DE LOS SEDIMENTOS Y DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVAS EN LOS SECTORES ARAGUAITO Y SACUPANA DEL RÍO ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Chuecos A. Jessica M.	CVLAC	17.591.608
	e-mail	Chuecos_jessica@hotmail.com
	e-mail	
Rodulfo L. Bray A.	CVLAC	17.464.266
	e-mail	Brayl_@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

FLUJO
LOS SEDIMENTOS
DRAGAS
RÍO ORINOCO
DELTA AMACURO

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Echeverria Dafnis	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	4.506.408
	e-mail	
	e-mail	
Sequera Mercedes	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	5.083.438
	e-mail	merselu@hotmail.com
	e-mail	
Malsalve Vicente	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	2.766.562
	e-mail	vicentemonsalve@hotmail.com
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2011	04	28
-------------	-----------	-----------

Lenguaje: spa

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

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis- ESTUDIO DEL FLUJO DE LOS SEDIMENTOS Y DE LAS ÁREAS DE DESCARGA.doc	Aplication/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: _____ (Opcional)

Temporal: _____ (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 distribuído. 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.

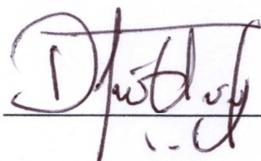


AUTOR 1



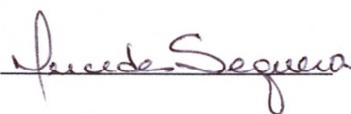
AUTOR 2

AUTOR 3



TUTOR

AUTOR 4



JURADO 1



JURADO 2

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS:

