

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



**PREDICCIÓN ESTOCÁSTICA DE LA DURACIÓN DE LOS  
PROYECTOS DE DRAGADO MEDIANTE SIMULACIÓN DE  
MONTECARLO. CASO: DRAGADO DEL SECTOR NOINA –  
CURIAPO DEL RÍO ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO,  
VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE  
GRADO PRESENTADO  
POR LA BACHILLER  
GUARISMA C., ISAMAR  
DE LA T. PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**CIUDAD BOLÍVAR, JUNIO 2024**



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

**HOJA DE APROBACIÓN**

Este Trabajo de Grado, titulado “**PREDICCIÓN ESTOCÁSTICA DE LA DURACIÓN DE LOS PROYECTOS DE DRAGADO MEDIANTE SIMULACIÓN DE MONTECARLO. CASO: DRAGADO DEL SECTOR NOINA – CURIAPO DEL RÍO ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA**”, ha sido expuesto y defendido por la bachiller **GUARISMA CARVAJAL, ISAMAR DE LA TRINIDAD** de cédula de identidad N° **19.728.566**, como requisito parcial para optar por el título: **INGENIERO INDUSTRIAL**, y aprobado de acuerdo al reglamento de la Universidad de Oriente por el jurado integrado por los profesores:

Nombres y apellidos:

Firmas:

Profesor Dafnis J. Echeverría D.  
(Asesor)

Profesor Francisco R. Monteverde S.  
(Jurado)

Profesora Beatriz C. Echeverría C.  
(Jurado)

Profesor Dafnis Echeverría D.  
Jefe de Depto. Ingeniería Industrial

Profesor Francisco Monteverde S.  
Director de Esc. De Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar, junio de 2024

## DEDICATORIA

Primero a DIOS, por haberme dado la vida y salud; A la Santísima Trinidad ; por cumplir esta meta tan importante , por darme el aliento, esperanza, valor y fuerzas necesarias durante este camino universitario.

Al mejor padre del mundo Luis Guarisma que hoy no está físicamente pero que está presente en cada pensamiento y meta lograda, me da su bendición desde el cielo mi ángel guardián, mi héroe no solo me dio la vida también me enseñó a vivirla, sembró en mi la base de la responsabilidad y deseo de superación y confiar en que si se puede y nunca rendirse gracias papi te amare por siempre.

A mi familia, especialmente a mi madre por enseñarme lo bueno y lo malo, inculcándome los valores necesarios para enfrentar al mundo, dándome la oportunidad de estudiar y crecer como persona, impulsándome, animándome con optimismo para continuar y culminar con este sueño.

A mis hermanos, por brindarme la confianza y por el ejemplo de lucha y dedicación para alcanzar lo que se desea en el proyecto de vida trazado.

A mis queridos sobrinos, Luismelys, Luzmarys, Jean Carlos, Zaine y Mia que me irradian con las mejores energías para hacer este sueño realidad. Que tengan siempre en su corazón fortaleza para que luchen por lo que quieren.

A todas aquellas personas que durante todo el tiempo colaboraron y me ayudaron a lograr esta meta en mi vida. Dejando un rastro en ella y a todas las personas que he conocido en estos últimos años que agregaron valor a mi vida, que me han enseñado a que las cosas tienen un valor y lo importante que es realizarlos con amor y constancia.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios primeramente por darme la vida, salud, sabiduría y fortaleza para lograr este reto guiándome por el camino correcto.

A mi querido padre que hoy no está físicamente pero siempre me acompaña en cada minuto de mi existencia y pensamientos.

Mi madre por darme la educación, un hogar donde crecer y enseñarme los valores que hoy en día me definen mi vida.

Mis hermanos Ana, Luisa, Zaida, Erika y Luis quienes han sido el pilar principal en la construcción de mi vida profesional, han sido mis ejemplos a seguir.

A Belkis de Ochoa, Isidro Ochoa, Yamil Kudari por su ayuda y apoyo incondicional y desinteresado que siempre creyeron en mí.

A la universidad de Oriente y a todo su equipo administrativo y profesoral por recibirme en la casa de estudios y así alcanzar esta meta.

Al Ingeniero Dafnis Echeverría por ser el creador de ideas de este proyecto de tesis que con su constancia, dedicación para dirigir el proceso y creer en mí.

Gracias a todo los que me apoyaron y colaboraron para lograr esta meta.

.

## RESUMEN

El objetivo general de la investigación es “predecir la duración de los proyectos de dragado mediante la aplicación de la simulación de Montecarlo, en el caso específico del dragado del sector Noina – Curiapo del río Orinoco”. El trabajo de investigación se enmarcó dentro de las características del nivel de investigación denominado descriptiva. Para la realización de la presente investigación se determinaron las características físicas más importantes del sector mencionado, mediante la elaboración de secciones transversales y modelos digitales de elevación del lecho, construidos con base a los levantamientos batimétricos cedidos por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC) con el fin de observar la morfología del cauce del río en el sector. Con base a los estudios de aforos realizados por el INC, se construyó un hidrograma de niveles del río, correlaciones de caudales, niveles y velocidades, así mismo se describieron parámetros hidráulicos como la pendiente hidráulica y la pendiente del lecho. Consultando a Echeverría y Ochoa (2010), se obtuvieron las características texturales del material del lecho. Este entorno físico del sector Noina-Curiapo además del conocimiento de las características funcionales de las dragas que generalmente operan en el canal de navegación del río Orinoco, permitió realizar una planificación general de un proyecto de dragado basado en los registros históricos sobre proyectos anteriores ejecutados en dicho sector. Sin embargo, la ocurrencia de variables no controladas con precisión como el clima, variaciones de los niveles del río, desempeño de los tripulantes, condiciones de tráfico de buques en el canal de navegación, desperfectos imprevistos de los equipos de dragado, entre otras, establece una alta variabilidad de rendimientos y duración de las actividades de los proyectos de dragado. Utilizando la aplicación computarizada @Risk y/o Microsoft Excel considerando el tipo de distribución estadística en la cual se enmarca cada variable, realizando 10000 iteraciones aleatorias mediante los criterios de la simulación de Montecarlo, se realizó el modelamiento de la duración del proyecto a través de la sumatoria de la duración de cada actividad.

## CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
RESUMEN.....	v
CONTENIDO .....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS .....	x
LISTA DE APÉNDICES .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR .....	3
1.1 Formulación del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	6
1.2.1 Objetivo general .....	6
1.2.2 Objetivos específicos .....	6
1.3 Justificación de la investigación .....	7
1.4 Alcance de la investigación .....	7
1.5 Limitaciones de la investigación .....	8
CAPÍTULO II .....	9
GENERALIDADES .....	9
2.1 Ubicación geográfica del sector Noina - Curiapo.....	9
2.2 Acceso al área.....	10
2.3 Geología regional .....	10
2.3.1. Provincia geológica de Imataca.....	10
2.3.2 Formación Mesa .....	11
2.4 Características físicas y naturales del área de estudio .....	14
2.4.1 Clima .....	14
2.4.2 Vegetación .....	15
2.4.3 Fauna .....	17
2.4.4. Características de suelo .....	17
2.4.5 Características geomorfológicas.....	18
2.4.6 Características hidrológicas.....	21
CAPÍTULO III.....	23

MARCO TEÓRICO.....	23
3.1 Antecedente de la investigación .....	23
3.2 Bases teóricas .....	26
3.2.1 Canales de navegación.....	26
3.2.2 El Canal navegable .....	26
3.2.3 Parámetros hidráulicos de corrientes fluviales .....	27
3.2.5 Dragado .....	30
3.2.6 Dragado de canales.....	30
3.2.7 Modelo de Montecarlo.....	37
3.3 Bases legales.....	43
CAPÍTULO IV.....	48
METODOLOGÍA DEL TRABAJO .....	48
4.1 Nivel de investigación .....	48
4.2 Diseño de investigación.....	49
4.3 Población y muestra de la investigación.....	50
4.3.1 Población de la investigación .....	50
4.3.2 Muestra de la investigación .....	50
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	51
4.4.1 Técnicas de recolección de datos.....	51
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos .....	52
4.4.3 Técnicas aplicadas de Ingeniería Industrial.....	52
4.5. Flujograma de la metodología de trabajo .....	54
4.6 Pasos requeridos para la realización de la investigación .....	55
CAPÍTULO V .....	58
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	58
5.1 Descripción de las características físico naturales del área de estudio .....	58
5.1.1 Características morfológicas.....	58
5.1.2 Descripción de parámetros hidráulicos.....	59
5.2 Diagnóstico de los proyectos de dragado realizados en el sector Noina-Curiapo durante el período 2000 a 2010 .....	64
5.3 Identificación de las actividades de un proyecto de dragado en el río Orinoco .....	67
5.4 Jerarquización de los factores incidentes en la duración de las actividades de un proyecto de dragado en el río Orinoco.....	70
5.5 Estimación de la duración de las actividades mediante simulación de Montecarlo.....	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
Conclusiones.....	82

Recomendaciones .....	83
REFERENCIAS .....	84
APÉNDICES.....	87

## LISTA DE FIGURAS

		Página
2.1	Canal de navegación Matanzas – Boca Grande (INC, 2024).....	9
2.2	Mapa geológico del escudo de Guayana (Modificado de Mendoza, 2002).....	11
2.3	Extensión geográfica de la Formación Mesa (Modificada de PDVSA- Intevep, 2005).....	12
3.1	Draga de tolva y succión en marcha.....	33
4.1	Flujograma de la metodología de trabajo.....	53
5.1	Modelo tridimensional, del sector Noina-Curiapo basado en el plano OODB5399, del 14.07.2001del INC (Echeverría y Ochoa, 2002)....	58
5.2	Correlación de niveles y velocidades registradas en la sección de aforos Vuelta Diablo ubicada en la milla 98.3 (INC,2024).....	59
5.3	Correlación de niveles y caudales registradas en la sección de aforos Vuelta Diablo ubicada en la milla 98.3 (INC,2024).....	59
5.4	Hidrograma de los niveles máximos, promedios y mínimos de la estación limnigráfica de Curiapo durante el período 2000-2009.....	60
5.5	Curvas granulométricas de las muestras tomadas en el sector Noina-Curiapo (INC, 2018).....	62
5.6	Distribución promedio de las formas de las partículas (Durán, 2019).	63
5.7	Sector Noina – Curiapo, mostrando tramo dragado (INC, 2021).....	64
5.8	Draga Guayana (Marine Traffic, 2020).....	65
5.9	Comparación de tiempos estándar y tiempos medidos de la draga Guayana en los proyectos de Noina-Curiapo.....	68
5.10	Diagrama Causa – Efecto donde se identifican los factores de riesgo	69
5.11	Diagrama de Pareto mostrando los 4 factores que concentran más del 87% de incidencia sobre la duración de las actividades.....	72
5.12	Familia de distribuciones Beta.....	73

## LISTA DE TABLAS

	Página
5.1 Velocidad y caudal correspondiente a la fecha del plano batimétrico costa-costa N° OODB5399 utilizado del sector Noina-Curiapo.....	60
5.2 Resumen de distribución porcentual por tamaño de las partículas presentes en los sedimentos del sector Noina-Curiapo (INC, 2018)...	61
5.3 Volumen promedio anual a dragar en los sectores del río Orinoco (INC, 2011).....	64
5.4 Actividades sus duraciones que integran un proyecto de dragado del sector Noina-Curiapo basado en los registros históricos del INC.....	66
5.5 Distribución estándar de tiempos de operación de las dragas (INC, 2004).....	67
5.6 Identificación de factores de riesgo que inciden en la duración de las actividades del proyecto de dragado del sector Noina-Curiapo.....	70
5.7 Jerarquización ordenada de los factores de riesgo.....	71
5.8 Estimación determinista y estocástica de la duración de las actividades y del proyecto de dragado.....	76
5.9 Simulación de Montecarlo para 10000 iteraciones.....	78
5.10 Parámetros estadísticos de la serie de los 10000 iteraciones.....	79

## LISTA DE APÉNDICES

	Página
<b>A</b>	<b>TABLAS</b>
A.1 Datos de Correlación de nivel, caudal y velocidad, correspondiente al sector Curiapo de la sección de aforo de Vuelta Diablo ubicada en la milla 98.3.....	87
A.2 Promedio de las formas de las partículas del sector Noina-Curiapo.....	88
A.3. Coordenadas de las secciones transversales del sector Noina-Curiapo (Fuente: plano batimétrico No OODB5399 del INC).....	88
A.4 Hidrograma del sector Noina- Curiapo del canal de navegación del río Orinoco.....	89
A.5 Análisis Granulométrico de la muestra 1 del sector Noina-Curiapo.....	90
A.6 Análisis Granulométrico de la muestra 2 del sector Noina-Curiapo.....	91
A.7 Análisis Granulométrico de la muestra 3 del sector Noina-Curiapo.....	92
A.8 Análisis Granulométrico de la muestra 4 del sector Noina-Curiapo.....	93
<b>B</b>	<b>FIGURAS</b>
B.1 Sección transversal N° 1 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010). ....	95
B.2 Sección transversal N° 2 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010). ....	95
B.3 Sección transversal N° 3 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010). ....	96
B.4 Sección transversal N° 4 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010). ....	96
B.5 Sección transversal N° 5 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010). ....	97
B.6 Sección transversal N° 6 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010). ....	97
B.7 Sección transversal N° 7 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010). ....	98
B.8 Sección transversal N° 8 en el sector Noina-Curiapo	

(Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010). .....	98
B.9 Sección transversal N° 9 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010). .....	99
B.10 Sección transversal N° 10 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010). .....	99
B.11 Sección transversal N° 11 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010). .....	100

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo considera como objeto de estudio la predicción estocástica de la duración de los proyectos de dragado del sector Noina-Curiapo del río Orinoco, mediante la aplicación de la simulación de Montecarlo con la finalidad de determinar con mayor nivel de certidumbre la duración de las actividades de los proyectos de dragado a través de la determinación de la duración de sus actividades.

Los objetivos planteados para el desarrollo de esta investigación se fundamentan en el conocimiento de las características físicas de la morfología, hidráulicas de las corrientes y texturales de los materiales del lecho; asimismo, es vital conocer las características funcionales de los equipos de dragado que han realizado operaciones de dragado en el mencionado sector del río Orinoco y los registros históricos de la duración de proyectos de dragado anteriores. Todo ello deberá ser incluido en la simulación estocástica de la duración de las actividades que integran el proyecto de dragado.

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

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

El Capítulo II expresa las generalidades del sector Noina-Curiapo que son, su ubicación geográfica, el acceso al área, las características físicas y naturales y la geología regional, local de dicho sector, entre otras.

El Capítulo III contiene el marco teórico y los antecedentes de la investigación, el cual sirvió de base para la indagación y esclarecimiento de diversos elementos comprendidos en la investigación. Además, contiene la definición de términos básicos con el objeto de expresar un significado preciso, acorde con el desarrollo del tema.

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

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

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1 Formulación del problema

El transporte de sedimentos se considera como el traslado de materiales erosionados de un lugar a otro para ser sedimentados. Es el proceso interviniente en la marcha general hacia el aplanamiento de los continentes que inexorablemente ocurre tras las épocas de levantamientos y formación de montañas. Ocurre posteriormente a la erosión o arranque de materiales, y anterior a su sedimentación o depósito. Este traslado de sedimentos es motivado por agentes naturales, como el viento o el agua (escorrentía, cursos de agua superficiales, entre otros).

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

Según estudios realizados por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC) en el río Orinoco sobre el transporte de sedimentos, este anualmente puede sobrepasar los 400 millones de metros cúbicos a lo largo de todo el cauce. Dichos materiales se

transportan y sedimentan obedeciendo a la hidrodinámica del cauce y las condiciones geomorfológicas del mismo, las cuales son cambiantes en el tiempo.

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.

El sector Noina-Curiapo del río Orinoco, estado Delta Amacuro, Venezuela, por estar cerca en el delta del río Orinoco, se considera como una zona de gran transporte de materiales, es por ello que el objeto de este proyecto radica en el análisis del flujo de los sedimentos para conocer sus características texturales, régimen hídrico y la dinámica fluvio-morfológica, estimando la magnitud del transporte y la influencia que tiene este flujo de sedimentos en el proceso de dragado de mantenimiento del canal de navegación en dicho sector.

Sin embargo, esta planificación se ve afectada por factores de difícil ponderación o de una incidencia aun no cuantificada con precisión. Esos factores inciden en la duración de dragado en el sector (comprendido entre el inicio y terminación del proceso de dragado) y entre los factores que se presume afectan la duración de cada campaña de dragado en dicho sector, se podría mencionar: la tasa de sedimentación diaria que afecta al sector, las condiciones variables de las corrientes del río, las condiciones climáticas del sector, la habilidad de los técnicos que ejecutan las estrategias de dragado, las suspensiones del dragado (por tráfico, por reparaciones, por abastecimientos o traslados intempestivos no programados), entre otras. Todos estos factores conocidos que inciden en el tiempo de duración del proyecto de

dragado pero no se conoce con certeza y precisión en que medida es esa afectación a cada una de las actividades del proyecto.

En este estado de realidades, pareciera oportuno la aplicación de alguna de las técnicas de planificación estocástica como son los modelos matemáticos como la simulación de Monte Carlo, la cual es apreciable por disminuir la incertidumbre en la duración de las actividades de un proyecto de ingeniería.

Visto los aspectos antes esbozados, cabe plantearse las siguientes interrogantes:

¿Cuáles son las características del entorno físico (geología, geomorfología, hidrología, textura de los sedimentos, climatología, etc.) presentes en el sector Noina-Curiapo del río Orinoco?

¿Cómo son los registros históricos de duración de las actividades que integran los proyectos de dragado ejecutados en el sector Noina-Curiapo?

¿Cuáles son las actividades involucradas en la ejecución de un proyecto de dragado?

¿Cuáles han sido los factores incidentes en la menor o mayor duración de las actividades que integran el proyecto de dragado?

¿Cómo se estimaría la duración de las actividades que presentan incertidumbre en su tiempo de ejecución?

## **1.2 Objetivos de la investigación**

Los objetivos de la investigación se definen a continuación:

### **1.2.1 Objetivo general**

Predecir estocásticamente la duración de los proyectos de dragado mediante simulación de Montecarlo. Caso: dragado del sector Noina-Curiapo del río Orinoco, estado Delta Amacuro. Venezuela.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar físicamente el entorno del sector Noina-Curiapo.
2. Diagnosticar el estado de ejecución de los proyectos de dragado ejecutados en el sector Noina-Curiapo durante los últimos diez (10) años.
3. Identificar las actividades involucradas en la ejecución de un proyecto de dragado
4. Jerarquizar los factores incidentes en la duración de las actividades que integran un proyecto de dragado.
5. Estimar la duración de un proyecto de dragado mediante la aplicación de un modelo estocástico de simulación de Montecarlo.

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

Este trabajo de investigación se efectúa con el fin de minimizar la incertidumbre existente en cuanto a la duración de las actividades de un proyecto de dragado mediante la aplicación de un modelo estocástico de simulación de Montecarlo. Esto permitirá optimizar la planificación del dragado de mantenimiento del sector Curiapo y racionalizar los recursos empleados en las labores de dragado de mantenimiento. Evidentemente disminuir tal incertidumbre conlleva afinar la precisión en la duración de la mayor cantidad de actividades posibles que integran el proyecto de dragado, esto podría lograrse haciendo que tales procesos sean de naturaleza claramente determinística. Lo cual se podría lograr realizando la caracterización hidráulica, sedimentológica, geológica, geomorfológica, y análisis de transporte de sedimentos del río Orinoco en el sector Curiapo. Haciendo uso de ensayos de laboratorio y métodos hidráulicos, con el propósito de estimar la magnitud del transporte de los sedimentos y cuantificar su influencia en las operaciones de dragado de mantenimiento del canal de navegación en dicho sector.

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

El siguiente estudio permitirá identificar las actividades afectadas de incertidumbre en su duración y además de generar una caracterización multidisciplinaria del entorno del área de estudio, lograr disminuir la incertidumbre de la duración de los proyectos de dragado. En esta investigación se podrá establecer las características de los materiales movilizados por el río Orinoco en el sector Noina-Curiapo, y por consiguiente, realizar una descripción de su posible influencia en la ejecución del dragado de mantenimiento del canal de navegación del río Orinoco en el sector Noina-Curiapo.

## **1.5 Limitaciones de la investigación**

El acceso del área de estudio debe efectuarse por vía acuática.

Poca disponibilidad de fuentes bibliográficas que sirvan como referencia o antecedentes que sustenten la investigación.

Por no disponerse de las magnitudes de corriente y direcciones de flujo provocado por las mareas, se consideró que para el modelaje del flujo de agua y sedimentos del sector Noina-Curiapo se consideró la condición de marea vaciante con cúspide de marea de sicigia a un nivel de 2.1 m.

## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1 Ubicación geográfica del sector Noina - Curiapo

El área de estudio está comprendida por el sector Noina-Curiapo, que se encuentra en la milla 52.9 hasta la milla 54.1 del canal de navegación del río Orinoco y abarca un canal de dragado con un ancho de 152 metros. Cuyas características de rumbo queda conformado así: primer rumbo  $316^{\circ}50'$  y segundo rumbo  $320^{\circ}00'$ . Manteniendo vinculación territorial por su margen izquierdo con los estados Anzoátegui, y Delta Amacuro y por su margen derecho con el estado Bolívar.

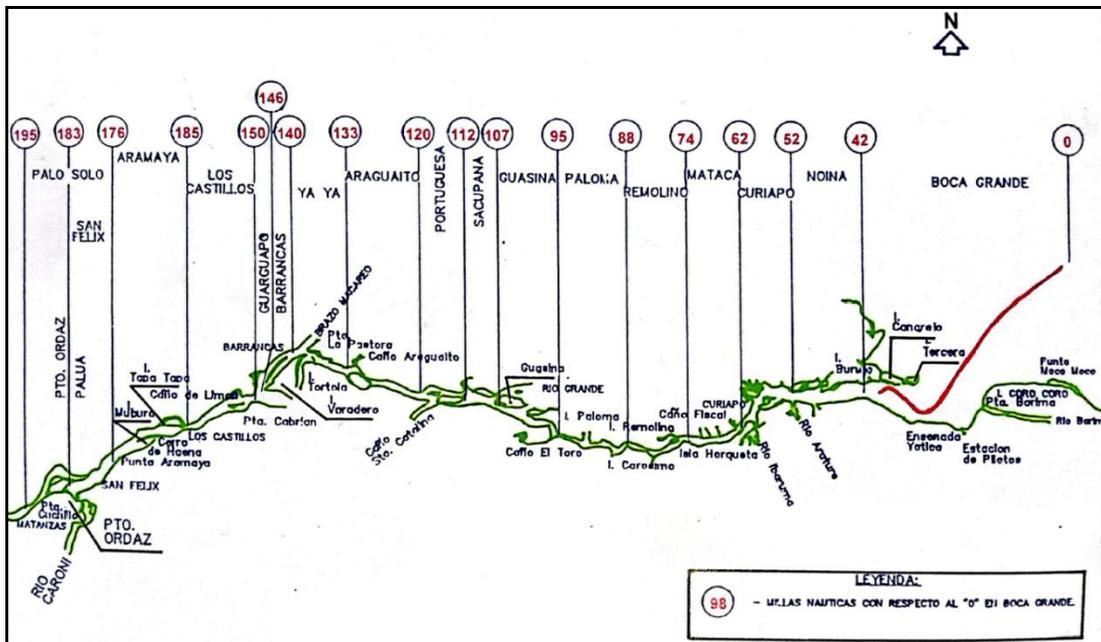


Figura 2.1 Canal de navegación Matanzas – Boca Grande (INC, 2024).

## **2.2 Acceso al área**

Debido a la ubicación geográfica de la zona de estudio, el acceso se realiza vía terrestre hasta la población de Barrancas del Orinoco y desde allí por vía fluvial, por embarcaciones facilitadas por la empresa (I.N.C) del río Orinoco, hasta la milla 52.1 en el Sector Noina-Curiapo.

## **2.3 Geología regional**

La geología regional está representada por lo que se conoce como Provincia geológica de Imataca, la Formación Mesa y los Sedimentos Recientes.

### **2.3.1. Provincia geológica de Imataca**

La Provincia Geológica de Imataca se extiende en dirección Suroeste-Noreste desde las Proximidades del río Caura hasta el Delta del Orinoco y en dirección

Noroeste-Sureste aflora desde el curso del río Orinoco hasta la Falla de Guri por unos 550 Km .y 80 Km. Respectivamente (Figura 2.1). Litológicamente la Provincia de Imataca está formada por gneises graníticos y granulitas félsicas (60 – 75%), anfibolitas y granulitas máficas, y hasta ultramáficas (15 – 20%), y cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro, dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales de menos metamorfizados y más jóvenes CRV – TTG gneisicos (El Torno – Real Corona)(Mendoza,2.002).

### 2.3.2 Formación Mesa

Se extiende por los llanos centro-orientales (estados Guárico, Anzoátegui, Monagas); sin embargo, se encuentran algunos afloramientos en los estados Sucre y Bolívar (inmediatamente al Sur del río Orinoco) (Figura 2.2) (PDVSA Intevep, 2005).

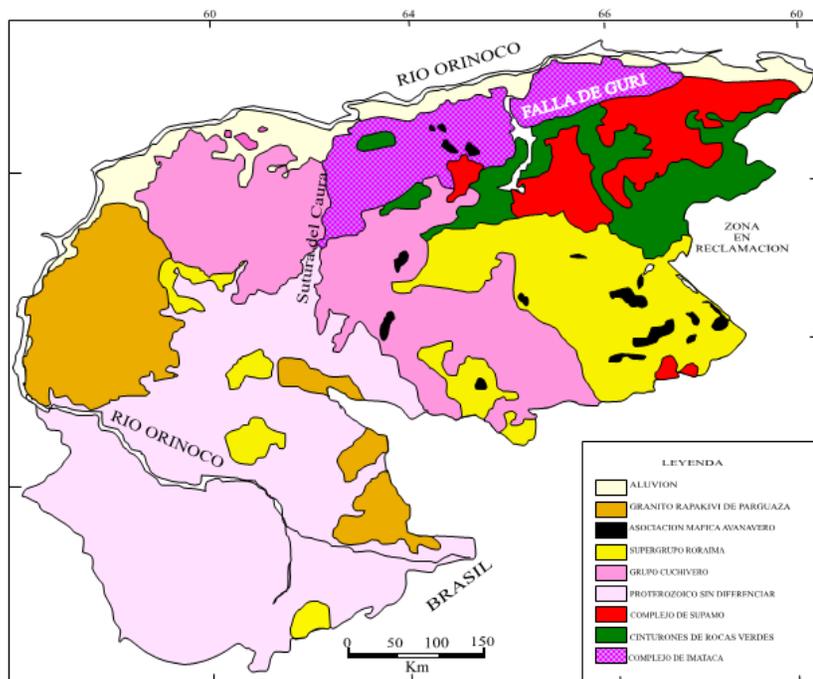


Figura 2.2 Mapa geológico del escudo de Guayana (Modificado de Mendoza, 2002).

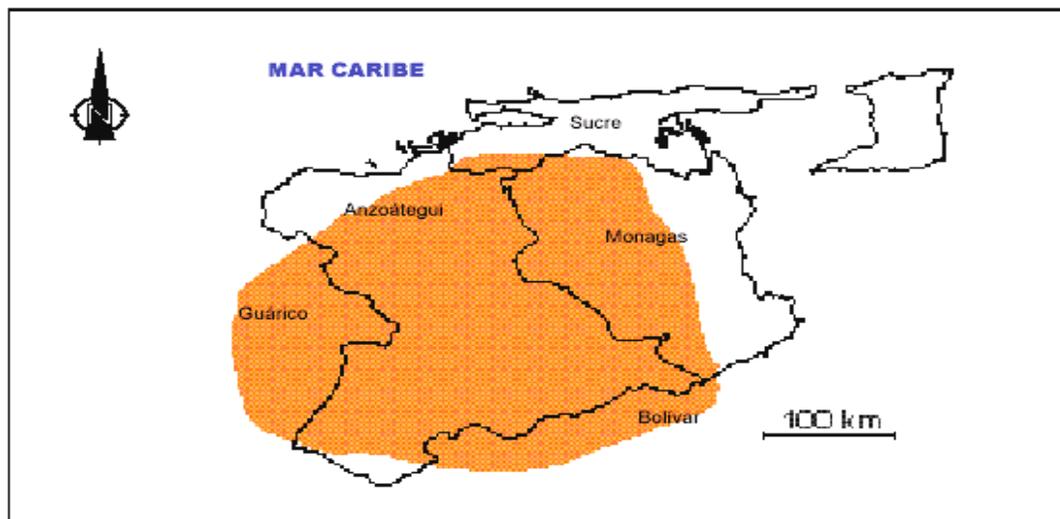


Figura 2.3 Extensión geográfica de la Formación Mesa (Modificada de PDVSA-Intevep, 2005).

a. Descripción litológica: Consiste de arenas, algunas de grano grueso con gravas, de color blanco a gris, amarillentas, rojo y púrpura, algunas cementadas con cemento ferruginoso, muy duras, con estratificación cruzada (PDVSA-Intevep, 2005). Conglomerados de color rojo a casi negro, algunos con elementos líticos redondos, tipo pudinga, de tamaño grande, aproximadamente 15 centímetros de diámetro, en una matriz arcillo-arenosa de color gris claro a amarillo (PDVSA-Intevep, 2005). Arcilla, de color gris, rojo y amarillo intenso, algunas moteadas, abigarradas y en lentes discontinuos de arcilla arenosa y lentes de limonita (González de Juana, 1.946 y Furrer y Castro, 1.997 en PDVSA-Intevep, 2005). Los sedimentos de la Formación Mesa gradan de Norte a Sur de más gruesos a más finos al alejarse de las cadenas montañosas del Norte. Desde la parte central de Monagas al macizo de Guayana, gradan de más finos a más gruesos (PDVSA-Intevep, 2005).

b. Espesor: Es muy variable, pero en términos generales disminuye de Norte a Sur como consecuencia del cambio en la sedimentación fluvial y deltaica, y aumenta de Oeste a Este por el avance de los sedimentos deltaicos (González de Juana et al., 1.980 en PDVSA-Intevep, 2005). Su espesor máximo puede llegar a alcanzar los 275 metros, mientras que en el estado Bolívar llega a los 80 metros o más (PDVSA-Intevep, 2005).

c. Contactos: En el estado Bolívar la Formación Mesa suprayace en posición discordante a las rocas del Complejo de Imataca (PDVSA-Intevep, 2005). Por debajo de la Formación Mesa, en ocasiones debajo de las capas de suelo y como terrazas de inundación se observa la presencia de roca meteorizada del basamento, fracturada y diaclasada.

d. Fósiles: En la Formación Mesa se han encontrado fósiles de agua dulce asociados con arcillas ligníticas y restos de madera silificada (xilópalo y sílex xiloideo) (González de Juana et al., 1.980 en PDVSA-Intevep, 2005).

e. Correlación: Los sedimentos de la Formación Mesa gradan hacia el Este a sedimentos de la Formación Paria (PDVSA-Intevep, 2005).

f. Edad: Se ha postulado una edad del Pleistoceno para la Formación Mesa (PDVSAIntevep, 2005).

g. Paleoambientes: La Formación Mesa se interpreta como producto de un extenso delta que avanzó hacia el Este en la misma forma que avanza hoy el delta del río Orinoco, depositando secuencias fluviales, deltaicas y paludales. El relieve de las cordilleras septentrionales desarrolló abanicos aluviales que aportaban a la sedimentación clásticos de granos muy gruesos, mientras que desde el Sur el aporte

principal fue de arenas. En la zona central se desarrollaron grandes ciénagas (González de Juana, 1.946 en; Coplanarh, 1.974, en PDVSA-Intevep, 2005.), considera que los sedimentos de la formación representan depósitos torrenciales y aluviales contemporáneos con un levantamiento de la Serranía del Interior.

2.3.1.3 Sedimentos recientes: los componen materiales provenientes de la disgregación de la Formación Mesa y descomposición de las rocas del Complejo de Imataca, los cuales son arrastrados y depositados por las aguas de escorrentía y el viento hacia los diferentes ríos de la región. Los materiales comprenden cantos, peñones, gravas, arenas, limos, arcillas, coloides y otras partículas en suspensión que se han depositado desde el Holoceno hasta el presente en el fondo de los cauces de los ríos, formando depósitos de cauce, y en épocas de crecida, originando las barras de meandro y depósitos de inundación.

## **2.4 Características físicas y naturales del área de estudio**

### **2.4.1 Clima**

En cuanto al bioclima, la zona en estudio se encuentra un bosque húmedo tropical (bh-T) que va desde aproximadamente la milla 30 hasta la milla 85 (Consultora Ingeniería Caura S.A 1994).

La temperatura permanece prácticamente inalterable a lo largo de este tramo del canal de navegación y esta por el orden de los 27 °C (Consultora Ingeniería Caura S.A 1994).

La precipitación varía linealmente en forma descendente, comenzando desde la milla 30, con un valor de 2200 mm hasta la población de Matanzas donde se observa

un valor de 950 mm. La evaporación media anual y, por consiguiente la evapotranspiración, tiene valores constantes a lo largo de todo el recorrido, con valores cercanos a los 1700 mm para la primera y 1300 mm para segunda; a excepción del área cercana a Puerto Ordaz donde se observan valores de hasta 2700 mm para la evaporación y 2000 mm para la evapotranspiración. En todo el trayecto del canal de navegación se observan de 3 a 4 meses secos y de 8 a 9 meses húmedos (Consultora Ingeniería Caura S.A 1994).

#### **2.4.2 Vegetación**

Según el informe de TECMIN (1989), la vegetación característica de la zona de estudio presenta dos tipos de asociación, los cuales se encuentran asociadas al paisaje fisiológico.

Asociación de bosques en paisaje de planicie: las comunidades arbóreas allí establecidas presentan inundaciones estacionales, determinado por la temporada de crecidas del río Orinoco. En cuanto a su estructura presenta una altura media a baja con tres verticales mayor de 2 m (C.V.G., 1989).

Asociación de bosques y herbazales en paisaje de planicie deltaica de origen fluvial: el herbazal se caracteriza por presentar un estrato herbáceo denso con individuos arbustivos conformando comunidades. En la planicie se localizan zonas ocupadas por formaciones arbóreas conformando bosques rodeados de herbazal (C.V.G., 1989).

El Delta del Orinoco está conformado por planicies sedimentarias de origen fluvio marino, encontrándose en las áreas donde predomina el carácter fluvial, formaciones arbóreas de bajo a medio (MENOR 25 m de altura) y densidad de cobertura rala a densa.

Las formaciones vegetales existentes en este paisaje reflejan en gran medida las condiciones de humedad y salinidad del suelo; en las áreas influenciadas directamente por la marea salina, predominan los manglares, en los sectores de influencia aluvial, se desarrollan bosques de alturas variables, con diferentes grados de resistencia a las condiciones de inundación.

Entre las especies características de los bosques desarrollados en las planicies de origen fluvial se encuentran: *Ceiba pentadra*, *Courupita guianensis*, *Tapirira guianensis*, *Erythrina* sp, *Cecropia* sp.

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 desarrolladas en las planicies de origen fluvial pero que, sin embargo, están sometidas a severos problemas de drenaje, encontrándose generalmente inundaciones, por lo que la abundancia y frecuencia de las especies varían en función de las condiciones edáficas-hídricas.

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 nitida*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus* (C.V.G., 1989).

En el sector localizado al sur de río Grande, que comprende la planicie deltaica formada tanto por aluviones acarreados por la corriente ecuatorial del norte, como por los ríos provenientes del Estado Guayanés, se desarrollan formaciones arbóreas de

porte variado, asociadas en algunos casos a formaciones herbáceas. Algunas de las especies observadas en este sector son: *Symphonia globulifera*, *Pterocarpus vernalis*, *Euterpe oleracea*, *Mauritia flexuosa* (C.V.G., 1989).

### **2.4.3 Fauna**

La fauna silvestre del estado Bolívar, alberga una gran variedad de especies que son características de los territorios del Sur del río Orinoco, llegándose a reportar hasta 212 especies de mamíferos pertenecientes a 31 familias.

En la actualidad existen varias especies que se encuentran en peligro de extinción, dentro de las cuales tenemos: el perro de agua (*pteronura brasiliensis*) y el manati (*trichechos manatos*), también se encuentra amenazada de extinción: la tortuga arrau (*podocnemis expansa*) y el conocido caimán del Orinoco (*crocodylus intermedius*) (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994).

Esta zona posee una gran biodiversidad de aves, las cuales oscilan aproximadamente entre 1.108 especies, de este total de aves sólo 41 representan una vital importancia en los aspectos económicos cinegético. De igual manera se reportan 133 especies de reptiles repartidas en 18 familias, también es necesario acotar, que existen diversos lugares donde probablemente se encuentren endémicas. (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994).

### **2.4.4. Características de suelo**

Entre las progresivas Milla 40 a milla 53

En las investigaciones del préstamo se encontraron arenas limosas y limo arcillo-arenoso entre las millas 40 y 53, en las zonas exploradas cerca del canal hasta

una profundidad máxima de 31 pies bajo el nivel de aguas bajas. Estos limos y arenas limosas representan una transición de los suelos de granulometría fina de la barra de las arenas relativamente limpias depositado río arriba (Tippet, Abbet, Mc Carty y Stratton, E. 1970).

Entre las progresivas Milla 52 a milla 62

En esta zona ya se ubica la zona de Curiapo el tipo de material encontrado en el fondo es arena limosa gris oscuro. Arena media a fina, marrón, homogénea y limpia. Arena gruesa marrón, limpia (Instituto Nacional de Canalizaciones 1997).

#### **2.4.5 Características geomorfológicas**

El Delta del Orinoco es una marisma aluvial que abarca un área de 22.000 kilómetros cuadrados rodeada por el borde noroeste del Escudo de Guayana. Ocupa una sección de la costa noreste de Sur América. La planicie costera del Delta se ha formado por la depositación de sedimentos del río Orinoco y corrientes cortas cargadas de sedimentos finos provenientes de Amazonas. El clima tropical contribuye al crecimiento activo de la vegetación sobre el terreno emergente (C.V.G., 1989).

Representa una zona con características fluviales y geográficas muy interesantes, y está influenciado por seis fases principales: 1) Agua de sedimentos descargados del río Orinoco, 2) Corrientes cortas que transportan sedimentos finos del Delta hasta la región Amazónica, 3) Olas, mareas y régimen de corriente de la Plataforma Continental, 4) Clima tropical de la región, 5) Niveles marinos altos (nivel de aguas altas) y 6) Escenario tectónico del Delta y su proximidad al límite de Placas Sur América Caribe (The study on integrated river improvenient of the Orinoco river in the Republic of Venezuela) (C.V.G., 1989).

Su posición de área de depositación tiene influencia en la estructuración de los relieves, de esta forma donde la influencia de la sedimentación es de origen predominantemente aluvial, se produce el desarrollo de relieves originados por acumulaciones libres y por decantación. Entre las primeras se citan diques, mapas de desborde, explayamiento de sanda y complejo de bancos, los cuales generalmente se localizan en los márgenes de los principales brazos del Orinoco (C.V.G., 1989).

En las acumulaciones por decantación, son comunes las cubetas de desborde y las de decantación (C.V.G., 1989).

A medida que se avanza hacia el litoral, prevalecen los sedimentos de Orión fluvio-marino, estructurándose relieves de llanura cenagosa, marismas, isla de estuarios y turberas. La dinámica fluvial de esta planicie deltaica ha dado lugar a una gran selección granulométrica de los sedimentos, tanto en sentido transversal como longitudinal, asimismo, modificaciones en la magnitud del espesor de tales depósitos.

La parte baja del Delta del Orinoco se caracteriza por presentar dos patrones distintos de canales. El primero representado por distributarios del sureste del Delta entre el canal del Río Grande y el Canal Aragua, típicamente convergen cerca de la costa reflejando episodios pasados de prolongación de lodo y la deflexión hacia el noroeste de cursos de canales.

Las colinas de playas y costas arenosas son comunes a lo largo de partes del noreste y este de la costa del Delta especialmente entre la Boca de Aragua (The study on integrated river improvement of the Orinoco river in the Republic of Venezuela) (C.V.G., 1989).

Finalmente, la sedimentación del Delta es responsable del desarrollo de las diferentes geoformas presentes en la zona de estudio, la dinámica fluvial del Orinoco y los caños mayores constituyen el factor dominante (C.V.G., 1989).

El río Orinoco desarrolla su cauce sobre el basamento rocoso estable, motivando variaciones significativas en la resistencia al flujo, suministro y capacidad de transporte del sedimento, existiendo a intervalos controles estructurales en el canal (C.V.G., 1989).

El tectonismo se manifiesta a escala regional y local con diferentes intensidades a través del tiempo geológico, incrementando en ocasiones los gradientes fluviales y subsiguientemente el suministro de sedimentos, que tiene sitio de disposición intermedia entre el canal y la planicie fluvial del río Orinoco (C.V.G., 1989).

Tales mecanismos han contribuido a desplazar el canal del río Orinoco y a modificar las redes con alteración a los patrones de meandros en los ríos de los llanos, a activar procesos erosivos en los lechos y en las mesas y sus bordes, a producir migración de los tributarios en las confluencias, esto último como resultado de la deposición de sedimento en formas de Deltas interiores o por causa de la removilización de los materiales por el río Orinoco, durante las sucesivas crecidas anuales (C.V.G., 1989).

Entre los procesos hidrológicos que afectan la geomorfología del área de estudio se deben considerar las amplias variaciones de los niveles del río entre los periodos seco y lluvioso; son pues, el resultado del mecanismo condicionante de evolución de las estructuras de la planicie en el río Orinoco, el cual se asocia a la forma del hidrógrama y magnitud de los caudales generados a partir de una cuenca

con una superficie drenada de cerca de un millón de kilómetros cuadrados (C.V.G., 1989).

Estas fluctuaciones de niveles difieren notablemente de lo observado en otros grandes ríos del mundo (como el río Amazonas), originando mecanismos de erosión-depositación en áreas de la planicie, así como formas fluviales con características únicas en el río Orinoco (C.V.G., 1989).

Dentro de los mecanismos más interesantes y complejos asociados al transporte de los sedimentos por el río Orinoco, resalta la acción combinada del recogimiento y transporte fluvial en el canal por la acción del viento sobre las diferentes estructuras de la planicie y el lecho, al producirse el descenso de los niveles del río Orinoco (C.V.G., 1989).

Este mecanismo opera además, sobre los suelos más distantes de la planicie, desplazando dunas longitudinales y barcanas localizadas unas a varios kilómetros al norte del canal del río Orinoco, y originando cambios en la orientación del drenaje de tributarios, obstrucción de bocas y desplazamiento de la confluencia (C.V.G., 1989).

#### **2.4.6 Características hidrológicas**

Las aguas del río Orinoco fluctúan regularmente todos los años como consecuencia de la variación estacional de las lluvias en la gran cuenca del río. El ascenso se inicia a finales del mes de marzo o comienzos del mes de abril y continúa normalmente hasta el mes de agosto, con algunos recesos ocasionales. El declinamiento del hidrograma tiene sus inicios en el mes de septiembre y se extiende de una forma continúa hasta el mes de marzo con una evidente regularidad (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994).

Las fluctuaciones anuales extremas presentan muy poca variabilidad, tanto para los máximos como para los mínimos. Además, se observa una leve variación en las fechas en las cuales el río alcanza sus máximos niveles de crecimiento (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994).

A medida que avanza la temporada de lluvias, el nivel del río se eleva inundando las márgenes y zonas aledañas, cuando el nivel del agua comienza a descender, la mayor parte drena hacia el río reteniéndose aguas en lagunas, charcas y canales.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedente de la investigación**

Para la elaboración y desarrollo de este proyecto se tomaron varias fuentes de información con el fin de obtener la mayor cantidad de estudios previos vinculados con el tema a desarrollar. A continuación, se referencian los aportes tomados de los trabajos realizados por los diferentes autores consultados:

Dahuare, C., & Mariña, M. (2011) en su trabajo titulado **“ESTUDIO DEL FLUJO DE LOS SEDIMENTOS Y DE LA AREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVAS EN EL SECTOR ARAMAYA DEL RÍO ORINOCO. ESTADO MONAGAS. VENEZUELA”**. El objetivo general de esta investigación es analizar el movimiento de los sedimentos y las áreas de descarga para dragas de tolvas sector Aramaya estado Monagas. La estrategia para dar respuesta al problema planteado fue documental. Con la información suministrada del Instituto Nacional de Canalizaciones, se realizaron secciones transversales a través de los planos batimétricos costa a costa del año 1998. 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 1998 -2002, se realizó el Hidrograma 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 se utilizaron modelos para el análisis de movimiento incipiente según Hjulstrom, Shields, Van Rijn, Yang, Meller- Peter- Müller, Mavis –Laushey,

Badnolds y Engelund y finalmente a través del uso del software de SMS se pudieron identificar sus velocidades

de corrientes de 1.80 m/s- 4.20 m/s y con profundidades de 28.5 m – 38.5 m y su área de descarga ubicada en la parte Noroeste del sector son las más indicadas en vista que la zona presenta muy buena erosión.

García, J. (2011) en su trabajo titulado **“ANÁLISIS DEL FLUJO DE SEDIMENTOS Y DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVAS EN EL SECTOR YAYA DEL RÍO ORINOCO. ESTADO MONAGAS. VENEZUELA”**. Este trabajo tiene por objetivo principal la evaluación del flujo de sedimentos en el sector Yaya del río Orinoco, en el estado Bolívar, y así conocer su comportamiento hidrodinámico a fin de tener la base necesaria para ubicar áreas de descarga en dicho sector.

Monente, J. (1990) en su trabajo titulado **“MATERIA EN SUSPENSIÓN TRANSPORTADA POR EL RIO ORINOCO”**. Los estudios dirigidos a conocer más profundamente al río Orinoco se han intensificado en los últimos años. Varios de ellos incluyen información sobre la cantidad de materia en suspensión que transporta, aunque las cifras que se ofrecen no siempre están en concordancia.

Este río se encuentra entre los más caudalosos del mundo y el volumen total de sedimentos que transporta lo coloca entre los diez primeros. El río Orinoco posee un caudal promedio de 36.000 metros cúbicos por segundo. Lewis (1988), presenta los promedios del caudal de este río en los años 1982-1985 y reporta en Barrancas del Orinoco un valor medio, para esos cuatro años, de 35.872 metros cúbicos por segundo.

Cada uno de los trabajos anteriores proporciona, desde el punto de vista metodológico, valiosos aportes que podrán ser utilizados en la presente investigación para alcanzar el desarrollo de los objetivos en forma cabal.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Canales de navegación**

Es una vía de agua hecha por el hombre que normalmente conecta lagos, ríos u océanos. Se utilizan para el transporte, a menudo surcados por barcazas en los canales fluviales y por barcos en los canales que se conectan océanos (Vélez, Santiago 2003).

Los canales navegables se clasifican en:

Canales naturales: se denomina canal natural a las depresiones naturales en la corteza terrestre, se encuentren en la montaña o en la planicie (Vélez, Santiago 2003).

Canales artificiales: están subdivididos en marítimos e interiores. Los primeros se caracterizan por poner en comunicación dos mares, y los segundos son vías de navegación construidas en la zona continental (Vélez, Santiago 2003).

### **3.2.2 El Canal navegable**

El canal de navegación del río Orinoco tiene una longitud de 195 millas náuticas, medidas desde el puerto de Matanzas hasta el Atlántico, aguas arriba de este puerto. La navegación sigue sometida a las restricciones naturales que hasta ahora la han limitado, pudiendo hacer el tráfico fluvial solo medianos barcos, (42 pies de calado) que a pesar del bajo calado que poseen se les presentan ciertas dificultades en los periodos de aguas bajas. (Tippet, Abbet, McCarty y Statton, 1970)

La profundidad de todo el canal de navegación se procura mantener con un nivel mínimo de aguas bajas de 34 pies, de manera que se asegure el movimiento de

buques de 32 pies de calado durante el periodo de aguas bajas (Noviembre a Mayo), 36 a 42 pies durante la época de aguas altas (Mayo a Septiembre), de acuerdo al hidrograma del río de la estación Palúa y de acuerdo al volumen estimado de carga y tráfico que tendrá el canal en ese período.

De acuerdo con la experiencia obtenida a lo largo del tiempo durante el mantenimiento del canal de navegación, y tomando en consideración su comportamiento hidráulico, éste se encuentra dividido actualmente en dos tramos totalmente diferentes, el canal del río (milla 42 a milla 544) y su canal de Boca Grande (milla 0 a milla 42)

### **3.2.3 Parámetros hidráulicos de corrientes fluviales**

#### **3.2.3.1 Caudal**

El caudal corresponde a una cantidad de agua que pasa por un lugar (canal, tubería, río, entre otros) en una cierta cantidad de tiempo, o sea corresponde a un volumen de agua (litros, metros cúbicos, entre otros), por unidad de tiempo (segundos, minutos, horas, entre otros); y queda definido por: la profundidad, el ancho, y la velocidad. (Bello, M., *et al* 2000).

**a.** Caudal Líquido: volumen de agua que atraviesa la sección transversal de un curso de agua por unidad de tiempo. Oficina Nacional del Agua y de los Medios Acuáticos, en Francia (2016).

**b.** Caudal Sólido: es la materia sólida que atraviesa una sección dada de un curso de agua por unidad de tiempo. El caudal sólido comprende la materia en solución, en suspensión y de fondo. Oficina Nacional del Agua y de los Medios Acuáticos, en Francia (2016).

### 3.2.3.2 Flujo de agua

Es cuando el agua produce un movimiento sobre la superficie de la tierra fluyendo de esta manera en canales. El agua es procedente de arroyadas, la fusión del hielo o de la nieve, los manantiales, entre otros. Dichos movimientos tienen suficiente fuerza como para transportar material grueso o en su defecto materiales finos. (Nichols, G., 1999).

a. Flujo Laminar: todas las moléculas dentro del fluido se mueven paralelas entre sí en la dirección de transporte: en un fluido heterogéneo, casi no se produce mezcla durante el flujo laminar. (Nichols, G., 1999).

b. Flujo Turbulento: las moléculas en el fluido se mueven en todas las direcciones, pero con un movimiento neto en la dirección de transporte: los fluidos heterogéneos se mezclan a fondo en flujos turbulentos. (Nichols, G., 1999).

### 3.2.3.3 Velocidad de flujo

Rocha, A. (2007) citado en Tapia, G., *et al* (2012) define la velocidad de flujo como la cantidad de metros por segundo que recorre el agua de un río. En canales y en cauces naturales, el flujo del agua es evidentemente tridimensional para cada punto de la corriente es decir, el vector velocidad tiene componentes en las tres direcciones (X, Y, Z). Para hacer un análisis de la variación de velocidades en una sección cualquiera, deberemos tomar muy en cuenta la forma de la sección transversal, pues la naturaleza y características geométricas del contorno definen básicamente la curva de distribución de velocidades.

### **3.2.3.4 Niveles de la corriente**

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

### **3.2.4 Aforo**

El término "aforo" significa la cuantificación de los escurrimientos que se producen en un cauce. Implica la determinación del volumen de agua que atraviesa una sección del río en la unidad de tiempo. Por lo tanto, los valores se expresan en  $m^3/s$  (los metros cúbicos de agua que pasan en un segundo) o en litros por segundo. (Aquabook., 2016).

Es imposible medir directamente un caudal, por lo tanto, los valores de aforos se determinan por cálculos en los que se utilizan otras variables que efectivamente se pueden medir como el área del canal o río, el tiempo de pasaje del agua o la altura de agua que escurre. (Aquabook. 2016).

Para aforar un gran río se utiliza el efecto Doppler, que consiste en medir la velocidad en un punto con un sensor de tipo fusiforme que se coloca sobre una barra o colgado del cable de un torno. En su interior un emisor-receptor y un microprocesador calculan la velocidad mediante el análisis de las frecuencias de trenes de ondas emitido que se reflejan en las partículas circulantes en el agua y son seguidamente captados. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (SF).

### **3.2.5 Dragado**

Es una labor que se ejecuta con la finalidad de obtener los niveles de calado mínimos necesarios para la navegación; y de esta forma brindarle una mayor seguridad a los buques que transitan por el canal del río Orinoco, se ejecutan según dos directivas: un dragado de construcción o profundización y un dragado de mantenimiento (Bates A., 1980).

a. Dragado de construcción o profundización: es un dragado comercial que se realiza en fondos vírgenes para obtener profundidades (Bastes A., 1980).

b. Dragado de mantenimiento: se realiza con la finalidad de remover la mayor cantidad de sedimentos depositados en el canal (Bastes A., 1980).

### **3.2.6 Dragado de canales**

El mantenimiento de los canales de navegación en ríos y puertos es fundamental para el comercio en todo el mundo. Si se bloquea un canal, los botes y barcazas en que confían las empresas se detienen. El dragado de canales garantiza que el tráfico fluvial continúe fluyendo sin problemas y que funcione como siempre.

El dragado es la operación que consiste en la limpieza y el ahondamiento de un cuerpo de agua, a partir de la remoción de rocas y sedimentos. Se lleva a cabo para aumentar la profundidad de un canal navegable o de un río, con el fin de incrementar la capacidad de transporte de agua, con lo que se evitan las inundaciones aguas abajo. Asimismo, se pretende con ello aumentar el calado de estas zonas, para facilitar el

tráfico marítimo por ellas sin perjuicio para los buques, con lo que se evita el riesgo de encallamiento.

En función del material del fondo que requiere ser dragado, se utilizan diferentes tipos de dragas. Hay varios tipos de dragas comúnmente usadas en este tipo de operación: mecánica, hidráulica y mixta (mecánica/hidráulica), y cada uno de ellos tiene diferentes tipos de mecanismo y funcionamiento.

Las operaciones de dragado tienen potencialmente un impacto ambiental significativo, que debe ser oportuna y convenientemente evaluado a fin de tomar en consideración las posibles medidas de mitigación de las mismas (Erftemeijer y otros, 2012).

Las obras de dragado pueden ser de diferente naturaleza y se requieren para cubrir ciertas necesidades, a continuación, se mencionan algunos ejemplos representativos de ello:

- a. Dragado de canales de acceso y vías navegables
- b. Dragado de apertura “Capital Dredging”
- c. Dragado de mantenimiento.
- d. Construcción de puertos.
- e. Proyectos de Relleno de áreas: Las áreas elegidas sobre la costa o en bahías se rellenan mediante material traído desde zonas de préstamo que pueden estar ubicadas a grandes distancias de navegación.
- f. Parques temáticos
- g. Construcción de islas artificiales.

### **3.2.6.1 Tipos de dragas para el dragado del río Orinoco**

A pesar de que existan distintos sistemas para describir dragas, en general se reconocen tres grandes grupos, basados en el sistema de excavación y de operación.

Son: las dragas mecánicas, las hidráulicas y las hidrodinámicas. Las dragas de tolva de succión en marcha (TSHD, por sus siglas en inglés *Trailing Suction Hopper Dredged*) se clasifican como dragas hidráulicas. Como dragas hidráulicas se incluyen todo equipo de dragado que utiliza bombas centrífugas, al menos para el proceso de transporte del material dragado, bien sacándolo fuera del agua, o bien transportándolo horizontalmente hasta otro sitio (IADC, 2014).

Las TSHD se utilizan en una gran variedad de proyectos de construcción marítima y mantenimiento. Éstos van desde dragado de mantenimiento en puertos y canales de acceso eliminando sedimentos para llegar a la profundidad requerida, hasta proyectos de dragado capital como la creación de nuevas tierras a gran escala que requieren millones de metros cúbicos de arena. El rendimiento de una TSHD tiene una influencia directa sobre los costes del proyecto. En consecuencia, la investigación y el desarrollo sobre las TSHD es un esfuerzo continuo para mejorar la relación coste-eficacia.

Las TSHD o dragas de tolva (Figura 3.1) son barcos autopropulsados que cuentan con una tolva, o tienen una cántara dentro de sus propios cascos. Se utilizan principalmente para dragar materiales sueltos como arena, arcilla o grava. Las principales características de una TSHD son: el cabezal de succión, las tuberías de succión, los compensadores de oleaje y los pescantes. Habitualmente, una TSHD está equipada con una o dos tuberías de succión a las que se les conecta los cabezales de succión. Se suele comparar los cabezales de succión con enormes aspiradoras. Las tuberías de succión descienden al Arriba: Las dragas de tolva son flexibles y pueden trabajar en aguas poco profundas incluso con marejadas. fondo de las aguas y los cabezales se “arrastran” por encima del fondo marino, succionando material mientras el buque avanza lentamente, es decir, rastrea. Las tuberías de succión y los cabezales de succión se pueden posicionar según las necesidades de la operación de dragado para que puedan ser transportados a la draga. La mezcla de agua y arena se aspira

hacia arriba mediante un sistema de bombeo, hasta la tolva o cántara del buque. Los pescantes y cabrestantes de la draga operan las tuberías de succión, izándolas a bordo o arriándolas según convenga a la operación. Se utiliza un compensador de oleaje para controlar el contacto entre el cabezal de succión y el fondo marino cuando se draga con olas (IADC, 2014).

Aunque todas las TSHD tienen cabezales de succión conectados a las tuberías de succión, los cabezales pueden ser de distintos tipos. El trabajo del cabezal de succión es excavar el material del fondo marino y mezclarlo con agua para crear una mezcla. El cabezal es la primera “toma de contacto” con el fondo. Generalmente, la potencia que hace que las puntas del cabezal penetren en el suelo, está formada por el peso del cabezal y de la tubería de succión. Sin embargo, cuando se dragan suelos duros y este peso resulta insuficiente, el cabezal no penetrará lo suficiente y se arrastrará por encima de la superficie, sin llegar a entrar en el suelo. El resultado es una mezcla de poca densidad, lo cual rebaja la productividad de la draga. Las continuas investigaciones llevadas a cabo han desarrollado en el desarrollo de cabezales de succión capaces de excavar con chorros de agua de alta presión, con la ayuda de dientes. Separan el material del fondo e incrementan la productividad formando la mezcla. Para mejorar la eficiencia de estos chorros de agua, en ocasiones se integra una boquilla FACTS ABOUT en las puntas del cabezal para que los chorros de agua corten el suelo justo antes de que la punta penetre en el mismo. El resultado es que se reducen las potencias necesarias para penetrar en el suelo y la eficiencia del corte aumenta. La potencia de succión de la bomba atrapa el material del fondo marino y permite el transporte hidráulico de la mezcla. El sedimento se transporta hidráulicamente, a través de las tuberías de succión, mediante la bomba centrífuga hacia la draga. Allí, los sólidos se depositan en su tolva y se almacenan a la espera de ser transportados y colocados en su destino final (IADC, 2014).



Figura 3.1 Dragas de tolva y succión en marcha.

Las tuberías de succión realizan varias tareas importantes. Son el conducto a través del cual se transporta la mezcla de lodo a la tolva. Adicionalmente, la tubería de succión, dirigida por el capitán de la draga, controla el movimiento del cabezal de succión sobre el fondo del mar. Al dirigir la fuerza de arrastre desde el cabezal al buque, la tubería de succión garantiza que se mantiene un buen contacto entre el cabezal y el fondo. Al funcionar con compensadores de oleaje, se puede regular la altura óptima del cabezal en relación al fondo marino. Si el cabezal está demasiado alto, se crea una mezcla con demasiada agua, pero si está demasiado bajo, o su peso está presionando hacia abajo en exceso, se creará demasiada fuerza de arrastre. La tubería de succión y los compensadores de oleaje compensan el movimiento vertical del buque, así como posibles irregularidades en el fondo marino y ayudan a mantener un equilibrio adecuado para la posición del cabezal de arrastre en relación al fondo marino. En efecto, el capitán puede ver y ajustar todas estas acciones mediante instrumentos sofisticados. Realizado de forma correcta, se mejorará notablemente el desempeño.

Lo que draga una TSHD es una mezcla de agua y sólidos, como arena. Dado que el principal objetivo de la TSHD es recoger arena para su reutilización o deposición en otro punto, una TSHD debe disponer de un sistema que maximice la retención de estos materiales sólidos dragados y minimizar la cantidad de agua que se quede en la tolva. El exceso de agua debe separarse y devolverse al mar. La parte sólida, la arena que queda, se depositarán en el fondo de la tolva, pero este proceso requiere tiempo. Un sistema de rebose ofrece los medios para separar los sólidos del agua reduciendo la turbulencia de la mezcla y permitiendo el tiempo suficiente para que la parte sólida (arena, gravilla) se depositen al fondo. A continuación, se separa el agua y este exceso se devuelve al mar (IADC, 2014).

Las TSHD son muy flexibles y pueden operar de manera independiente de otros equipos y, al ser autopropulsadas, son capaces de transportar el material dragado a grandes distancias. Una vez que el buque está completamente cargado, se dirige al punto de descarga o lugar de deposición donde se descarga el material dragado. Dependiendo del tipo de proyecto, el material dragado será descargado de una de las siguientes tres maneras:

- a. El material se deposita en el lugar de deposición abriendo las compuertas en el fondo del buque.
- b. o bien se bombea en tierra a través de tuberías, que podrían estar sumergidas o flotando.
- c. o bien bombas de gran potencia pueden impulsar el material al aire, un proceso conocido como vertido por cañón. La elección del método de descarga está directamente relacionado con el tipo de proyecto.

Las TSHD se pueden utilizar para un gran número de operaciones, porque se encuentran entre los equipos de dragado más flexibles que existen hoy en día. La flexibilidad resulta evidente tanto en los tipos de material que es capaz de dragar,

como en dónde se puede colocar el material y dónde pueden trabajar. Por ejemplo, pueden dragar diferentes tipos de arena, arcilla, limo, o gravilla y hoy en día incluso algunos tipos de roca. Pueden trabajar en aguas tranquilas y protegidas, o en aguas más turbulentas como canales de entrada, o mar adentro, donde el tiempo y las olas pueden ser más activos. A diferencia de los buques atracados las TSHD pueden trabajar en puertos concurridos porque no tienen anclas ni cables y son autopropulsados para que puedan moverse libremente. Adicionalmente, pueden trabajar tanto a grandes profundidades como en áreas menos profundas. Los buques más grandes tienen la ventaja económica de que son capaces de dragar materiales en áreas de préstamo a mucha distancia de la zona de recuperación. Su producción es alta, aunque puede variar en función del tipo de material, la profundidad del mar y las condiciones meteorológicas (IADC, 2014).

Cabe señalar algunas preocupaciones medioambientales a la hora de utilizar una TSHD. Dada la dificultad de regular una tubería de succión, la precisión puede ser difícil y requiere análisis y seguimiento con sistemas de monitorización y dirección de alta tecnología. Aunque trabajar con una TSHD causa un nivel limitado de sedimentos suspendidos y turbidez comparado con dragas de cortador, su aparición puede ocurrir cuando se carga con un exceso de agua que contenga finos.

Esto crea una pluma de elementos de grano fino lo cual genera un aumento de la cantidad de sedimentos suspendidos en la columna de agua en el lugar de dragado y un aumento de la turbidez, o también se puede producir una reducción de la penetración de la luz en el agua. Como esto puede tener un impacto negativo en la vida bentónica, esta turbidez debe monitorizarse cuidadosamente.

Hoy en día, la turbidez puede reducirse con varias nuevas tecnologías como el uso de válvulas verdes, el reciclaje (de parte) del agua de rebose (overflow), la salida del overflow por el fondo, o reduciendo el overflow mismo (IADC, 2014).

### 3.2.7 Modelo de Montecarlo

Las simulaciones de Monte Carlo son una técnica matemática que predice los posibles resultados de un evento incierto. Los programas informáticos utilizan este método para analizar datos pasados y predecir una serie de resultados futuros en función de una elección de acción. Por ejemplo, si desea estimar las ventas del primer mes de un nuevo producto, puede proporcionar al programa de simulación de Monte Carlo los datos históricos de ventas. El programa estimará diferentes valores de venta en función de factores como las condiciones generales del mercado, el precio del producto y el presupuesto de publicidad.

John von Neumann y Stanislaw Ulam inventaron las simulaciones de Monte Carlo, o el método de Monte Carlo, en la década de 1940. Le pusieron el nombre del famoso lugar de apuestas de Mónaco porque el método comparte la misma característica aleatoria que el juego de la ruleta.

Una simulación de Monte Carlo es un modelo probabilístico que puede incluir un elemento de incertidumbre o aleatoriedad en su predicción. Cuando se utiliza un modelo probabilístico para simular una salida, se obtienen resultados diferentes cada vez. Por ejemplo, la distancia que separa su casa de la oficina es fija. Sin embargo, una simulación probabilística podría predecir tiempos de viaje diferentes al considerar factores como la congestión, el mal tiempo y las averías de los vehículos.

En cambio, los métodos de previsión convencionales son más deterministas. Proporcionan una respuesta definitiva a la predicción y no pueden tener en cuenta la incertidumbre. Por ejemplo, es posible que indiquen el tiempo de viaje mínimo y máximo, pero ambas respuestas son menos precisas.

Las simulaciones de Monte Carlo proporcionan múltiples salidas posibles y la probabilidad de cada una de estas a partir de un gran conjunto de muestras de datos aleatorios. Ofrece un panorama más claro que una previsión determinista. Por ejemplo, prever los riesgos financieros requiere analizar docenas o cientos de factores de riesgo. Los analistas financieros utilizan la simulación de Monte Carlo para obtener la probabilidad de cada resultado posible.

Los ingenieros deben garantizar la fiabilidad y solidez de cada producto y sistema que crean antes de ponerlo a disposición del público. Utilizan métodos de Monte Carlo para simular la tasa de fallos probable de un producto en función de las variables existentes. Por ejemplo, los ingenieros mecánicos utilizan las simulaciones de Monte Carlo para calcular la durabilidad de un motor cuando funciona en diversas condiciones.

### **3.2.7.1 Funcionamiento de la simulación de Monte Carlo**

El principio básico de una simulación de Monte Carlo radica en la ergodicidad, que describe el comportamiento estadístico de un punto en movimiento en un sistema cerrado. El punto en movimiento eventualmente pasará por todos los lugares posibles en un sistema ergódico. Esto se convierte en el fundamento de la simulación de Monte Carlo, en la que la computadora ejecuta suficientes simulaciones para producir la salida eventual de diferentes entradas.

Por ejemplo, en el caso de un dado de seis caras, la probabilidad de que caiga en un número concreto es de uno a seis. Al lanzar el dado seis veces, es posible que el dado no caiga en seis números diferentes. Sin embargo, se alcanzará la probabilidad teórica de uno a seis para cada número al continuar indefinidamente con los lanzamientos. La precisión del resultado es proporcional al número de

simulaciones. En otras palabras, ejecutar 10 000 simulaciones produce resultados más precisos que 100 simulaciones.

La simulación de Monte Carlo funciona de la misma manera. Utiliza un sistema de computación para realizar una cantidad suficiente de simulaciones que produzcan diferentes resultados que imiten los de la vida real. El sistema utiliza generadores de números aleatorios para recrear la incertidumbre inherente a los parámetros de entrada. Los generadores de números aleatorios son programas de computación que producen una secuencia impredecible de números aleatorios.

El principio básico de una simulación de Monte Carlo radica en la ergodicidad, que describe el comportamiento estadístico de un punto en movimiento en un sistema cerrado. El punto en movimiento eventualmente pasará por todos los lugares posibles en un sistema ergódico. Esto se convierte en el fundamento de la simulación de Monte Carlo, en la que la computadora ejecuta suficientes simulaciones para producir la salida eventual de diferentes entradas.

Por ejemplo, en el caso de un dado de seis caras, la probabilidad de que caiga en un número concreto es de uno a seis. Al lanzar el dado seis veces, es posible que el dado no caiga en seis números diferentes. Sin embargo, se alcanzará la probabilidad teórica de uno a seis para cada número al continuar indefinidamente con los lanzamientos. La precisión del resultado es proporcional al número de simulaciones. En otras palabras, ejecutar 10 000 simulaciones produce resultados más precisos que 100 simulaciones.

La simulación de Monte Carlo funciona de la misma manera. Utiliza un sistema de computación para realizar una cantidad suficiente de simulaciones que produzcan diferentes resultados que imiten los de la vida real. El sistema utiliza generadores de números aleatorios para recrear la incertidumbre inherente a los

parámetros de entrada. Los generadores de números aleatorios son programas de computación que producen una secuencia impredecible de números aleatorios.

### 3.2.7.2 Componentes de una simulación de Monte Carlo

Un análisis de Monte Carlo consta de variables de entrada, variables de salida y un modelo matemático. El sistema de computación introduce variables independientes en un modelo matemático, las simula y produce variables dependientes.

a. Variables de entrada: las variables de entrada son valores aleatorios que afectan la salida de la simulación de Monte Carlo. Por ejemplo, la calidad de fabricación y la temperatura son variables de entrada que influyen en la durabilidad de un teléfono inteligente. Las variables de entrada se pueden expresar como un rango de muestras de valores aleatorios de modo que los métodos de Monte Carlo puedan simular los resultados con valores de entrada aleatorios.

b. Variable de salida: la variable de salida es el resultado del análisis de Monte Carlo. Por ejemplo, la vida útil de un dispositivo electrónico es una variable de salida, que se expresa en un valor de tiempo, como 6 meses o 2 años. El software de simulación de Monte Carlo muestra la variable de salida en un histograma o gráfico que distribuye el resultado en un rango continuo en el eje horizontal.

c. Modelo matemático: un modelo matemático es una ecuación que describe la relación entre las variables de salida y de entrada en forma matemática. Por ejemplo, el modelo matemático de rentabilidad es  $Beneficio = Ingresos - Gastos$ .

El software de Monte Carlo sustituye los ingresos y los gastos por valores probables en función del tipo de distribución de probabilidad. Posteriormente, repite

la simulación para obtener un resultado muy preciso. La simulación de Monte Carlo se puede ejecutar durante horas cuando el modelo matemático involucra muchas variables aleatorias.

### **3.2.7.3 Distribuciones de probabilidad en las simulaciones de Monte Carlo**

Las distribuciones de probabilidad son funciones estadísticas que representan un rango de valores distribuidos entre límites. Los expertos en estadística utilizan las distribuciones de probabilidad para predecir la posible presencia de una variable incierta, que puede consistir en valores discretos o continuos.

La distribución de probabilidad discreta se representa mediante números enteros o una secuencia de números finitos. Cada uno de los valores discretos tiene una probabilidad mayor que cero. Los especialistas en estadística trazan la distribución de probabilidad discreta en una tabla, pero trazan la distribución de probabilidad continua como una curva entre dos puntos dados en el eje x de un gráfico. Los siguientes son tipos comunes de distribuciones de probabilidad que una simulación de Monte Carlo puede modelar.

a. Distribución normal: la distribución normal, también conocida como curva de campana, tiene forma simétrica de campana y representa la mayoría de los acontecimientos que se producen en la vida real. La posibilidad de un valor aleatorio en la mediana es alta y la probabilidad disminuye significativamente hacia ambos extremos de la curva de campana. Por ejemplo, un muestreo aleatorio repetido del peso de los alumnos de un aula determinada da como resultado un gráfico de distribución normal.

b. Distribución uniforme: la distribución uniforme se refiere a una representación estadística de variables aleatorias que tienen la misma probabilidad.

Cuando se trazan en un gráfico, las variables distribuidas uniformemente aparecen como una línea plana horizontal a través del rango válido. Por ejemplo, la distribución uniforme representa la probabilidad de lanzar y obtener un resultado en cada lado de un dado.

c. Distribución triangular: la distribución triangular utiliza los valores mínimo, máximo y más probable para representar variables aleatorias. El pico de la probabilidad se sitúa en el valor más probable. Por ejemplo, para predecir los próximos volúmenes de ventas, las empresas utilizan la distribución triangular y establecen el valor mínimo, máximo y pico del triángulo.

#### **3.2.7.4 Pasos para realizar una simulación de Monte Carlo**

El método de Monte Carlo incluye los siguientes pasos:

a. Establezca el modelo matemático: defina una ecuación que reúna las variables de salida y de entrada. Los modelos matemáticos pueden abarcar desde fórmulas empresariales básicas hasta complejas ecuaciones científicas.

b. Determine los valores de entrada: elija entre los diferentes tipos de distribuciones de probabilidad para representar los valores de entrada. Por ejemplo, la temperatura de funcionamiento de un teléfono móvil es probablemente una curva de campana, ya que el dispositivo funciona a temperatura ambiente la mayor parte del tiempo.

c. Cree un conjunto de datos de muestra: cree un gran conjunto de datos de muestras aleatorias según la distribución de probabilidad elegida. El tamaño de la muestra debe ser del orden de 100 000 para obtener resultados precisos.

d. Configure el software de simulación de Monte Carlo: utilice las muestras de entrada y el modelo matemático para configurar y ejecutar el software de simulación de Monte Carlo. Los tiempos de los resultados pueden variar en función de la cantidad de variables de entrada, y es posible que tenga que esperar los resultados.

e. Analice los resultados: compruebe los resultados simulados para averiguar cómo se distribuye la salida en el histograma. Utilice herramientas estadísticas para calcular parámetros, como el valor medio, la desviación estándar y la variante, y así determinar si el resultado está dentro de las expectativas.

### 3.3 Bases legales

Legalmente, la realización de este proyecto de investigación se sustenta primeramente en el **DECRETO CON RANGO, VALOR Y FUERZA DE LEY DE CANALIZACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS VÍAS DE NAVEGACIÓN (2008)**, sobremanera en los Artículos 3° y 6°, citados a continuación:

Artículo 3°: “El presente Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley tiene por finalidad regular las acciones relacionadas con transformación y conservación de espacios en vías adecuadas a la navegación acuática para garantizar la accesibilidad permanente y segura de buques y accesorios de navegación”.

Artículo 6°: “A los efectos del presente Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley se entiende por:

a. Canalización: Las actividades relacionadas con el diagnóstico, estudio, análisis, diseño y ejecución de obras que permitan la transformación de espacios acuáticos restringidos, en vías de navegación seguras.

b. Mantenimiento: Aquellas acciones de dragado, hidrografía y de preservación de sistemas de señalización, que tienen como finalidad garantizar permanentemente el acceso y navegación segura de dichas vías.

c. Dragado: La operación de limpieza de los sedimentos en cursos de agua, lagos, bahías, accesos a puertos para aumentar la profundidad de un canal navegable o de un río para aumentar la capacidad de transporte de agua, evitando así las inundaciones aguas arriba. Con ello se pretende aumentar el calado de estas zonas para facilitar el tráfico marítimo por ellas sin perjuicio para los buques, evitando el riesgo de encallamiento.

d. Hidrografía: Consisten en el levantamiento del lecho del canal, vía de navegación y áreas cercanas con la finalidad de analizar la condición de profundidad que presentan estos.

e. Infraestructura hidráulica: Toda intervención que conlleve al dragado, señalización e hidrografía de los espacios acuáticos.

f. Accesorios de navegación: Los equipos flotantes que no tienen propulsión propia”.

A partir de lo descrito en estos artículos, se entienden conceptos sustanciales tratados en el problema planteado, dedicado a la racionalización de proyectos para canalizar vías navegables en el área de estudio.

Asimismo, según lo establecido en los Artículos 1º, 3º, 4º y 6º de la **LEY DE AGUAS DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (2007)**, se observa una importante relación con los objetivos y justificación de este trabajo. Se citan los artículos:

Artículo 1º: “Esta Ley tiene por objeto establecer las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés de Estado”.

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

Artículo 4º: “La gestión integral de las aguas tiene como principales objetivos:  
Garantizar la conservación, con énfasis en la protección, aprovechamiento sustentable y recuperación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, a fin de satisfacer las necesidades humanas, ecológicas y la demanda generada por los procesos productivos del país.

Prevenir y controlar los posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes”.

Artículo 6º: “El uso de las aguas debe adecuarse a la disponibilidad del recurso, a las necesidades reales de la actividad a la que se pretende destinar, al interés público y a las previsiones de los planes de gestión integral de las aguas”.

Por último, se acotan los Artículos 1º, 3º, 5º y 6º de las **NORMAS PARA REGULAR LAS ACTIVIDADES CAPACES DE PROVOCAR CAMBIOS DE**

**FLUJO, OBSTRUCCIÓN DE CAUCES Y PROBLEMAS DE SEDIMENTACIÓN (1992)**, puesto que se debe tener en consideración una proyección futura a los resultados de un proyecto como el propuesto en este trabajo de investigación. Así, los artículos previamente mencionados enuncian:

Artículo 1º: “Las presentes normas tienen por objeto controlar el desarrollo de actividades que por generar cambios en los sistemas de control de obras hidráulicas, obstrucción de cauces y escorrentías y producción artificial de sedimentos, son susceptibles de ocasionar daños tales como inundaciones, déficit en la distribución de aguas, inestabilidad de cauces y alteración de la calidad de las aguas”.

Artículo 3º: “Se consideran actividades capaces de provocar cambios de flujo, obstrucción de cauces y problemas de sedimentación, las siguientes:

- a. Construcción de obras de infraestructura ejecutadas en el área de influencia de cuerpos de agua que puedan afectar, alterar o modificar la red de drenaje.
- b. Movimientos de tierra y cambios de la topografía.
- c. Las que tengan por objeto la canalización, derivación, diques o tomas de los cuerpos de aguas.
- d. Las que contribuyan a alterar el caudal ecológico del cuerpo de agua.
- e. Todas aquellas que propendan a modificar el régimen hidrológico o el balance de erosión, transporte o acumulación de sedimentación en los cuerpos de agua”.

Artículo 5º: “Cualquier proyecto, actividad u obra que contemple el encauzamiento, alineamiento, revestimiento o protección de los canales, deberá garantizar su eficiente funcionamiento, con la finalidad de evitar el desbordamiento, erosión y disposición de sedimentos”.

Artículo 6º: “La excavación y disposición de materiales y sedimentos en los canales, podrá realizarse siempre y cuando se mantenga la capacidad hidráulica de los mismos, a los fines de evacuar los flujos de las crecientes”.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DEL TRABAJO**

#### **4.1 Nivel de investigación**

El enfoque seguido en el presente estudio de acuerdo con los objetivos planteados se puede ubicar dentro del paradigma de investigación descriptiva que según Hernández, P. (2003) propone que “en un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas, para así (vélgase la redundancia) describir lo que se investiga”.

Por su parte, Hernández & *et al* (Ob. Cit.) definen que "los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis." (pág. 60). Los prototipos descriptivos narran los hechos como son observados; se utilizan cuando se desea representar una realidad en todos sus componentes principales.

En base a lo anteriormente planteado se puede afirmar que esta investigación es de tipo descriptiva ya que está enfocada en detallar minuciosamente cada aspecto de lo observado por el evento en estudio, además de caracterizar hechos y/o fenómenos desde el punto de vista geomorfológico, geotécnico e hidráulico, con el objeto de establecer su incidencia sobre la duración de las actividades que integran los proyectos de dragado, específicamente en el sector Curiapo y finalmente predecir mediante la aplicación de un modelo matemático estocástico (simulación de Montecarlo), la duración de las actividades que integran un proyecto de dragado en el mencionado sector.

## **4.2 Diseño de investigación**

De acuerdo a los medios utilizados para obtener los datos, se puede afirmar que la investigación es de tipo Documental.

El presente estudio se apoya en la investigación documental, la cual es una de las técnicas de la investigación cualitativa que se encarga de recolectar, recopilar y seleccionar información de las lecturas de documentos, revistas, libros, grabaciones, filmaciones, periódicos, artículos resultados de investigaciones, memorias de eventos, entre otros; en ella la observación está presente en el análisis de datos, su identificación, selección y articulación con el objeto de estudio (Guerrero Dávila, 2015).

Este tipo de diseño se define como aquel donde no se manipula ninguna variable. De hecho, los sujetos que se observan no se exponen a ninguna condición especial.

El investigador utiliza el registro de los hechos pasados tal como se dieron en la realidad en su hábitat natural.

La investigación tiene base documental debido a que se revisó una serie de documentos de registros de duración de las actividades involucradas en las operaciones de dragado realizadas en el sector Noina-Curiapo, entre los cuales cuentan: registros de operación de las dragas que operaron en el sector, planificación y control del dragado efectuado por la División Control de Producción del Instituto Nacional de Canalizaciones (INC).

## **4.3 Población y muestra de la investigación**

### **4.3.1 Población de la investigación**

Según Silva, J. (2006) citado en Arias, F. (2006) una población “está determinada por ciertas características que la distinguen, por lo tanto, el conjunto de elementos que posean esas características se denomina población o universo, y se le define como la totalidad del fenómeno a estudiar, cuyas unidades de análisis poseen características comunes, las cuales se estudian y dan origen a los datos de la investigación.

Es precisar los atributos esenciales de sus elementos que sirven para agruparlos como conjunto.”

En esta investigación la población se encuentra representada por todos los proyectos de dragado realizados en el sector Noina-Curiapo del río Orinoco, estado Delta Amacuro, Venezuela, durante el período 2000 a 2010.

### **4.3.2 Muestra de la investigación**

La muestra es un "subconjunto representativo de un universo o población." (Morles, 1994, p. 54). Por su parte, Arias, F. (2006) expresa que “una muestra representativa es aquella que por su tamaño y características similares a las del conjunto, permite hacer inferencias o generalizar los resultados al resto de la población con un margen de error conocido.” (pág. 83).

De acuerdo al modelo de investigación, el tipo de muestreo que se llevará a cabo se encuentra dentro del paradigma no probabilístico; a su vez intrínsecamente al

sub-paradigma intencional u opinático definidos por Arias, F. (2006) como “un procedimiento de selección en el que se desconoce la probabilidad que tienen los elementos de la población para integrar la muestra en donde los elementos son escogidos con base en criterios o juicios preestablecidos por el investigador.” (pág. 86).

De acuerdo a lo anteriormente explicado la muestra abarcará la totalidad de la población analizada y de hecho tendrá la misma naturaleza y tamaño de la población.

#### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **4.4.1 Técnicas de recolección de datos**

**a) Revisión bibliográfica:** es una técnica muy válida para sustanciar o complementar la presente investigación mediante la consulta y revisión de las bitácoras de las dragas, y de los asientos y reportes de producción de las dragas, así como también de las estadísticas de la ocurrencia de los posibles factores incidentes en la variabilidad de la duración de las actividades que integran los proyectos de dragado del sector Noina-Curiapo realizados durante la última década.

Adicionalmente se revisarán investigaciones antecedentes del área de estudio y sobre el tema que permitan arrojar luces y aspectos metodológicos sobre la investigación tratada en este documento.

**b) Entrevistas no estructurada:** aun cuando es una técnica muy utilizada en las investigaciones cualitativas, se ha considerado que en la presente investigación, la cual tiene definitivamente un sesgo de índole cuantitativo, es utilizable para preguntar detalles abiertos a los tripulantes de las dragas, sobre el devenir de los procesos y actividades que presentan incertidumbre en su duración.

#### **4.4.2 Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos empleados para recolectar la información necesaria en el desarrollo de la investigación fueron los siguientes:

1. Cámaras fotográficas
2. Computadores portátiles
3. Libretas de anotaciones

#### **4.4.3 Técnicas aplicadas de Ingeniería Industrial**

a) Matriz FODA: la matriz FODA es una herramienta de análisis que puede ser aplicada a cualquier situación, individuo, producto, empresa, etc, que esté actuando como objeto de estudio en un momento determinado del tiempo.

Es como si se tomará una “radiografía” de una situación puntual de lo particular que se esté estudiando. Las variables analizadas y lo que ellas representan en la matriz son particulares de ese momento. Luego de analizarlas, se deberán tomar decisiones estratégicas para mejorar la situación actual en el futuro.

El análisis FODA es una herramienta que permite conformar un cuadro de la situación actual del objeto de estudio (persona, empresa u organización, etc) permitiendo de esta manera obtener un diagnóstico preciso que permite, en función de ello, tomar decisiones acordes con los objetivos y políticas formulados.

Se aplicará la matriz FODA en esta investigación con la finalidad de realizar un diagnóstico del estado actual de ejecución de los proyectos de dragado en el sector Noina-Curiapo.

b) Diagrama causa – efecto (Ishikawa): el diagrama Causa-Efecto es una representación gráfica que muestra la relación cualitativa e hipotética de los diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado. Muestra las interrelaciones entre un posible efecto y sus posibles causas de manera ordenada, clara y precisa y de un solo golpe de vista. Se aplicará en esta investigación para identificar o diferenciar los posibles factores incidentes en la variación o generadores de incertidumbre de la duración de las actividades medulares del proyecto de dragado.

c) Diagrama de Pareto: un diagrama de Pareto es una técnica que permite clasificar gráficamente la información de mayor a menor relevancia, con el objetivo de reconocer los problemas más importantes en los que deberías enfocarte y solucionarlos.

Esta técnica se basa en el principio de Pareto o regla 80/20, la cual establece una relación de correspondencia entre los grupos 80-20, donde el 80 % de las consecuencias provienen del 20 % de las causas.

El diagrama de Pareto, también conocido como curva de distribución ABC, consiste en una gráfica que clasifica los aspectos relacionados con una problemática y los ordena de mayor a menor frecuencia, con lo que permite visualizar de forma clara cuál es la causa principal de una consecuencia.

d) Simulación de Monte Carlo: proporciona soluciones aproximadas a una gran variedad de problemas matemáticos posibilitando la realización de experimentos con muestreos de números pseudoaleatorios en una computadora. El método es aplicable a cualquier tipo de problema, ya sea estocástico o determinista. A diferencia de los métodos numéricos que se basan en evaluaciones en N puntos en un espacio M-dimensional para producir una solución aproximada, el método de Montecarlo tiene un error absoluto de la estimación que decrece en virtud del teorema del límite central. Se utilizará este método en la presente investigación con la finalidad de disminuir la incertidumbre en la duración de la actividad de dragado del sector Noina-Curiapo.

#### 4.5. Flujograma de la metodología de trabajo

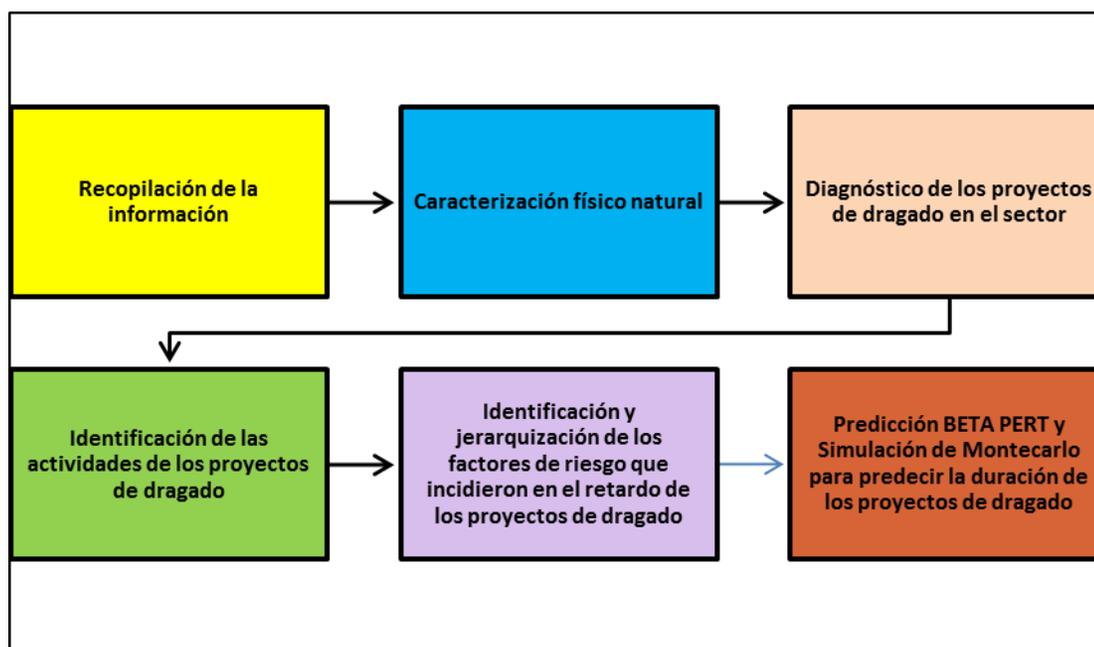


Figura 4.1 Flujograma de la metodología de trabajo.

#### **4.6 Pasos requeridos para la realización de la investigación**

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

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

a. Obtención de datos del área en estudio

Se realizó posteriormente la revisión bibliográfica, en la cual se obtuvo del I.N.C (Instituto Nacional de Canalizaciones) a través de la Gerencia Canal del Orinoco información acerca del área de estudio y los registros históricos de los proyectos de dragado realizados en el sector Noina-Curiapo, los cuales fueron necesarios para el desarrollo de esta investigación los cuales se mencionan a continuación:

Tesis de grado desarrolladas sobre el sector Noina-Curiapo.

Registros históricos de las operaciones de dragado realizadas durante la década 2000 al 2010.

Mediciones de aforos realizadas por el I.N.C (Instituto Nacional de Canalizaciones), para el período 1997-2003.

Imágenes satelitales del área de estudio.

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

Planos batimétricos costa a costa de las actuales áreas de descarga.

b. Descripción de la morfología del área de estudio

Para la descripción morfológica local se utilizaron los datos de la tesis de Grado de Echeverría y Ochoa (2010)

c. Describir los parámetros hidráulicos principales del sector Noina-Curiapo: a tal fin, se recopilaron y analizaron los resultados de las campañas de aforo realizadas por el INC durante la primera década de este siglo.

d. Diagnóstico del estado de ejecución de los proyectos de dragado ejecutados en el sector Noina-Curiapo durante el período 2000 a 2010: para ello, se utilizarán los registros históricos de ejecución de los proyectos de dragado realizados en el sector Noina-Curiapo. Se identificarán y separarán las variables de interés de cada proyecto y los tiempos de ejecución de cada actividad relevante que incida en la duración de los proyectos.

e. Identificar los subprocesos y actividades involucradas en la ejecución de un proyecto de dragado: con base a los registros históricos de los proyectos de dragado realizados en el sector de estudio, se procede a identificar los subprocesos y actividades que de alguna manera inciden significativamente en la duración de los proyectos de dragado que se han ejecutado en el sector Noina-Curiapo.

f. Jerarquizar los factores incidentes en la duración de las actividades que integran un proyecto de dragado: tomando en cuenta los subprocesos y actividades y fundamentalmente, los factores que han incidido en la duración de las actividades durante el período 2000 a 2010, se procederá a jerarquizarlos de acuerdo a su nivel de incidencia.

g. Estimar la duración de las actividades de un proyecto de dragado mediante la aplicación de un modelo estocástico de simulación de Montecarlo: haciendo uso del programa computarizado @Risk, considerando las actividades involucradas en cada proyecto de dragado y su comportamiento a lo largo del tiempo (2000 – 2010) se modelará la duración de cada una de tales actividades identificadas como conspicuas para un proyecto de dragado y se predecirá su duración futura en un proyecto de dragado.

## **CAPÍTULO V**

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

#### **5.1 Descripción de las características físico naturales del área de estudio**

##### **5.1.1 Características morfológicas**

Para la descripción de la morfología del lecho del sector Curiapo fue necesario utilizar el plano batimétrico costa- costa del año 2001.

Se construyeron once secciones transversales a lo largo del canal entre las millas 54,8 y 51,8 cada 500 m, permitiendo así observar los cambios morfológicos. Se observa que hacia el extremo oeste del sector Noina-Curiapo las mayores profundidades se ubican hacia el lado norte, manteniéndose esta tendencia hasta la sección 8 (milla 52.9), coincidiendo estas profundidades con la alineación actual del canal de navegación. Sin embargo a medida que se revisan las subsiguientes secciones transversales ubicadas aguas abajo del sector se puede notar una inversión en la ubicación de las mayores profundidades que se encuentran en la margen derecha descendente desde la sección 9 (milla 52.3),

En el modelo 3D del tramo en estudio (elaborado con el programa SURFER GOLDEN 8.0) se corrobora lo anteriormente descrito sobre la ubicación de las mayores profundidades del sector en la figura 5.1.

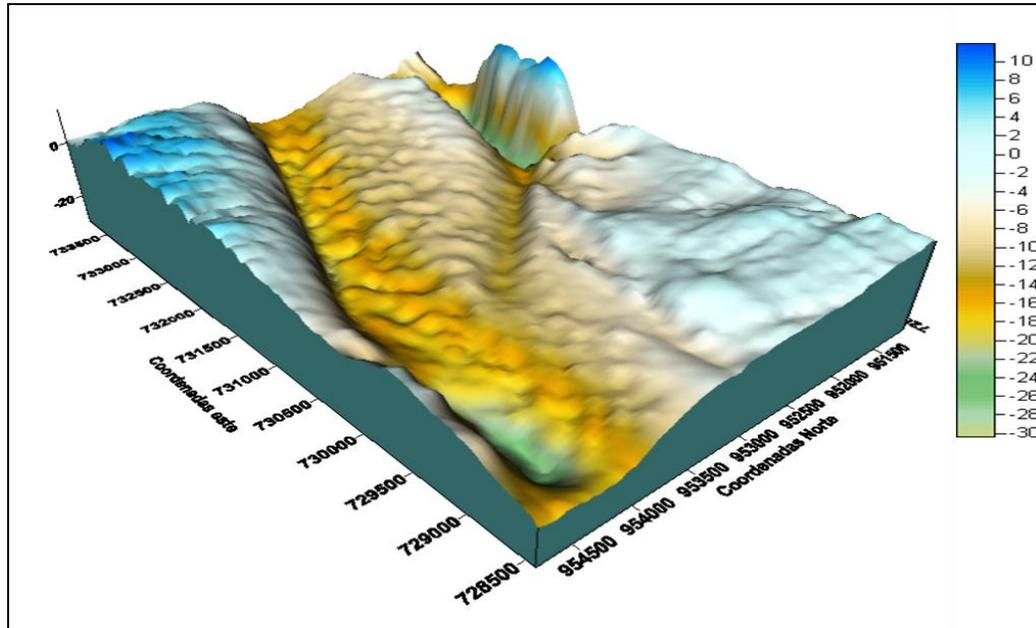


Figura 5.1 Modelo tridimensional, del sector Noina-Curiapo basado en el plano OODB5399, del 14.07.2001 del INC (Echeverría y Ochoa, 2010).

## 5.1.2 Descripción de parámetros hidráulicos

### 5.1.2.1 Elaboración de la correlación de niveles, caudal y velocidad

Haciendo uso de las campañas de aforos efectuadas por el Instituto Nacional de Canalización (I.N.C), se obtuvieron los datos de caudales y velocidad de corriente de la sección Vuelta del Diablo, así mismo se obtuvieron los niveles del río registrados en el sector Noina-Curiapo para el momento que se realizaron los aforos. Con esto se construyeron gráficos de correlación de velocidad y caudal con los niveles del río.

En la Figura 5.2, se muestra el gráfico de la correlación de velocidad con el nivel del sector Noina-Curiapo y en la Figura 5.3 se muestra la correlación del caudal y el nivel del río.

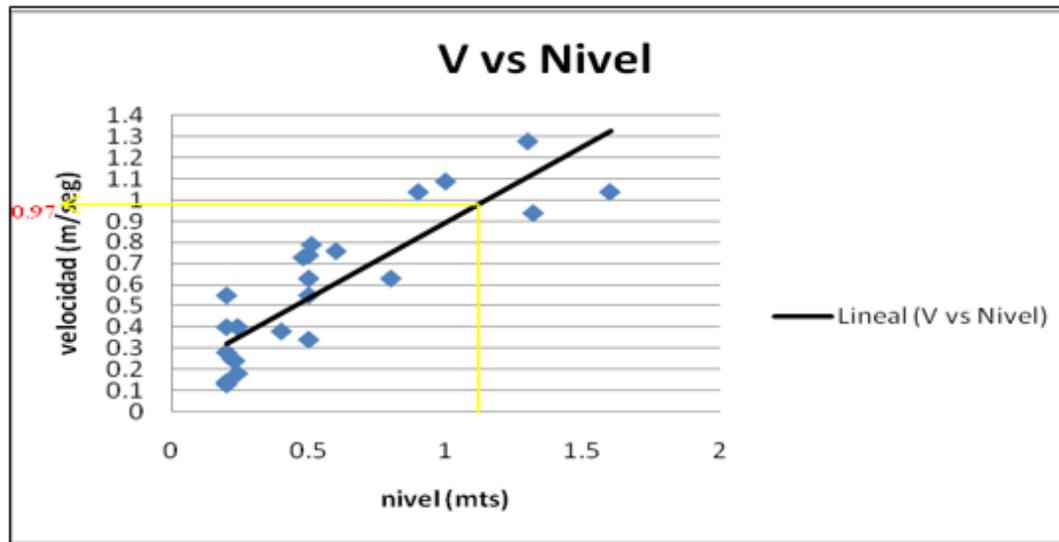


Figura 5. 2 Correlación de niveles y velocidades registradas en la sección de aforos Vuelta Diablo Ubicada en la milla 98.3 (INC,2024).

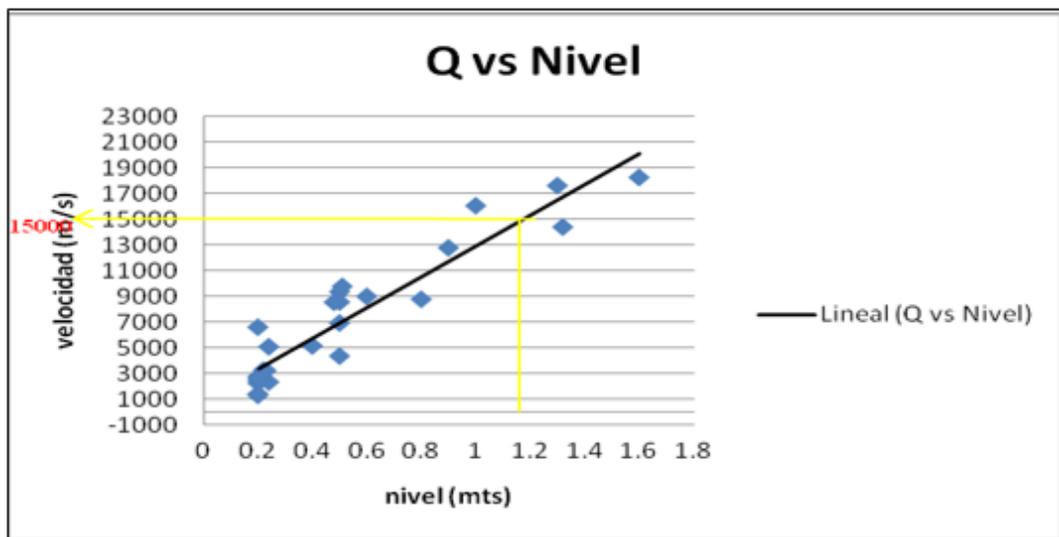


Figura 5.3. Correlación de niveles y caudal registrada en la sección de aforos Vuelta Diablo Ubicada en la milla 98.3 (INC, 2024).

Tabla 5.1. Velocidad y caudal correspondiente a la fecha del plano batimétrico costa-costa N° OODB5399 utilizado del sector Noina-Curiapo.

Fecha del plano batimétrico costa. Costa	Nivel en Palúa(mts)	Nivel en Curiapo (mts)	Velocidad (m/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
14 de julio del 2001	8.58	1.18	0.97	15000

### 5.1.2.2 Pendientes hidráulicas, pendientes del lecho y niveles del río

De acuerdo al estudio de Echeverría y Ochoa (2010), la pendiente hidráulica del sector Noina-Curiapo, obtenidas del plano N° OODB5399. Varía entre  $0,21 \times 10^{-4}$  m/m y  $0,11 \times 10^{-4}$  m/m, así como se muestra la Figura 5.2, obteniéndose como promedio una pendiente hidráulica de  $0,000016$  m/m. Seguidamente, se presenta en la Figura 5.4 el Hidrograma de niveles del río Orinoco medido en la estación limnigráfica de Curiapo.

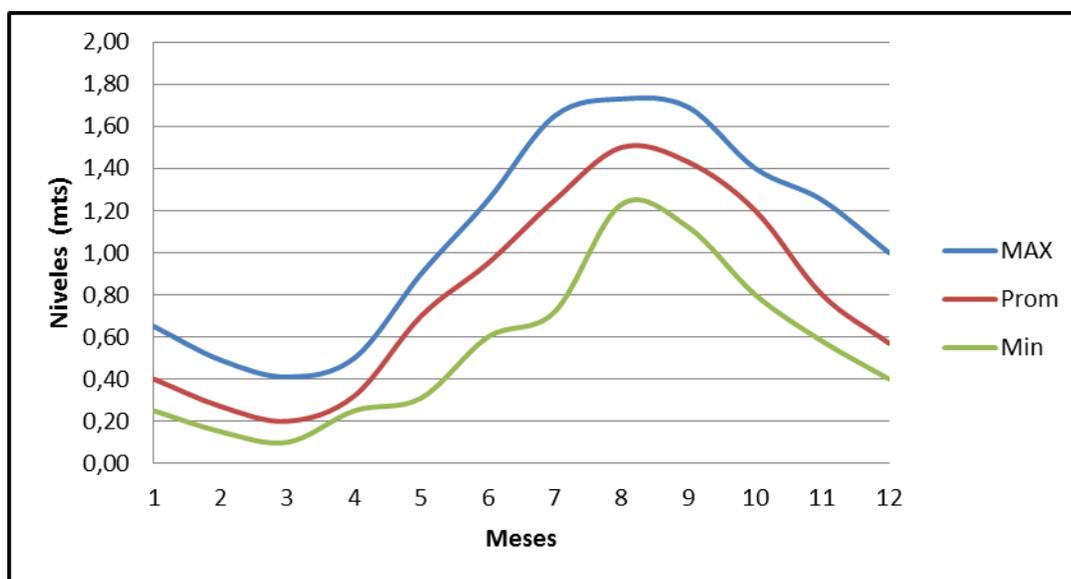


Figura 5.4. Hidrograma de los niveles máximos, promedios y mínimos de la estación limnigráfica de Curiapo durante el período 2000-2009.

### 5.1.2.3 Distribución granulométrica de las partículas

Los materiales del lecho se pueden clasificar como arenas medias, lo cual se deriva de la caracterización textural realizada el año 2018 por el INC con muestras tomadas en las tolvas de una draga que operaba en el sector (Tabla 5.2). Se puede observar en las curvas granulométricas presentadas en la Figura 5.5 y en el apéndice A.5 a A.8.

Tabla 5.2 Resumen de distribución porcentual por tamaño de las partículas presentes en los sedimentos del sector Noina-Curiapo (INC, 2018).

Tipo Material		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	
		%	%	%	%	
Gruesos	Gravas	2.85	7.87	2.77	5.21	
	Arenas	Gruesa	8.80	9.85	35.35	20.07
		Media	52.40	56.23	58.55	40.77
		Fina	20.87	25.32	3.18	33.72
Finos	Limos-Arcillas	15.08	0.73	0.15	0.23	
Totales		100	100	100	100	
d <sub>10</sub> (mm)			0.35	0.35	0.08	
d <sub>30</sub> (mm)			0.57	0.55	0.13	
d <sub>60</sub> (mm)			1.35	1.30	0.80	
Cu			3.9	3.7	10.3	
Cc			0.7	0.7	0.3	
Clasificación	Sedimentológica	Arena media	Arena media	Arena media	Arena media	
	SUCS		SP	SP	SP	

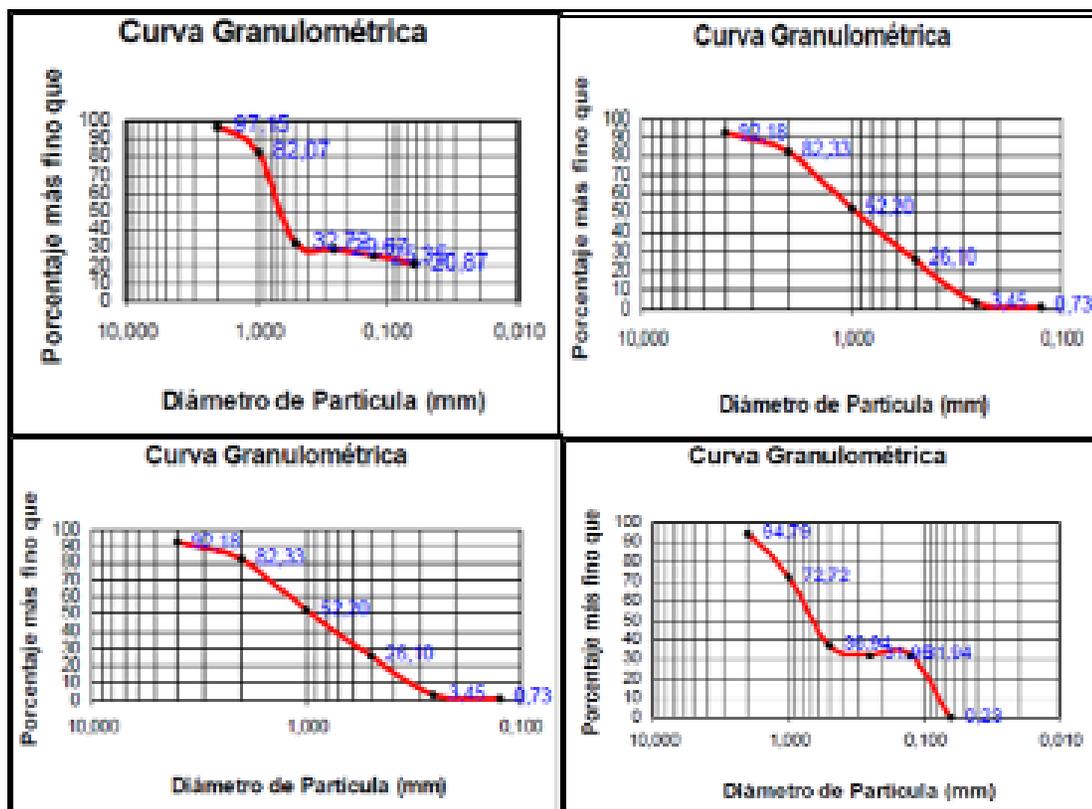


Figura 5.5 Curvas granulométricas de las muestras tomadas en el sector Noina-Curiapo (INC, 2018).

#### 5.1.2.4 Análisis de esfericidad y redondez

Los resultados de los mismos reflejan que en general los granos son de baja esfericidad, y que en promedio porcentualmente (Figura 5.6) la mayor parte son de forma angulosa (A=54,31%), en orden de abundancia por granos sub-angulosos (SA=31,00%), sub-redondeados (SR=11,97%) y la menor proporción corresponde a granos redondeados (R=2,72%) (Durán, 2019).

Esto se explica por la corta trayectoria de los sedimentos desde sus sitios de origen hasta su lugar de deposición, poseen una corta historia de transporte y

deposición y una baja madurez textural (predominio de granos angulosos) (Martínez 1994).

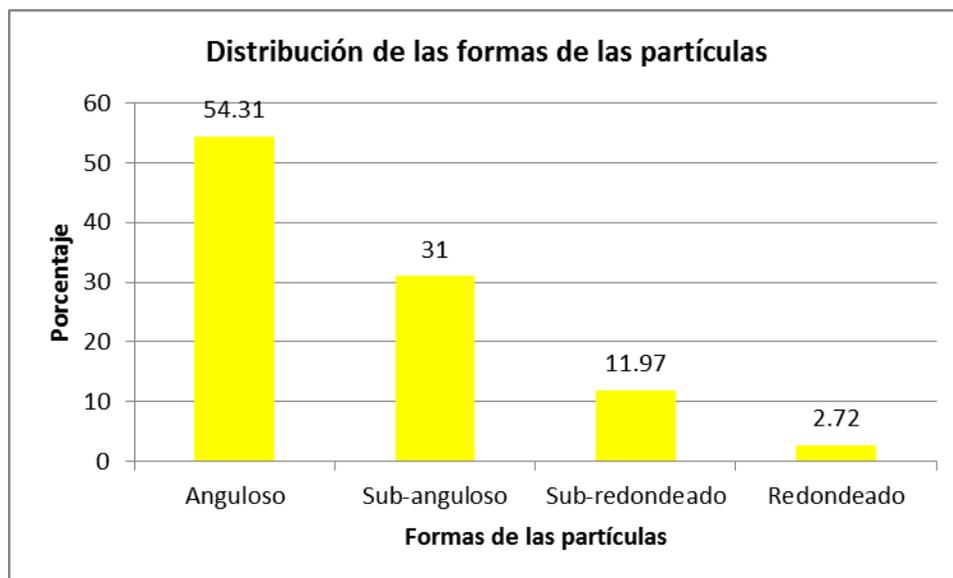


Figura 5.6 Distribución promedio de las formas de las partículas (Durán, 2019).

## 5.2 Diagnóstico de los proyectos de dragado realizados en el sector Noina-Curiapo durante el período 2000 a 2010

Para verificar las operaciones de dragado realizadas en el área de estudio durante el período evaluado (primera década de este siglo) se consultaron las bitácoras de planificación de la División Control de Producción de la CVG Gerencia del Canal de Navegación del Orinoco (CVG-GCNO) encontrándose que efectivamente se realizaron generalmente, dos (2) intervenciones anuales para el dragado del sector Noina – Curiapo el cual se constituye en nuestro caso de estudio (Figura 5.7).



Figura 5.7 Sector Noina – Curiapo, mostrando tramo dragado (INC, 2021).

De la revisión de los registros históricos estadísticos de la ejecución de proyectos de dragado en el río Orinoco durante el período 2000 – 2010, se encontró las siguientes cifras promedio a dragar en cada uno de los sectores del río Orinoco que se muestran en la Tabla 5.3. Específicamente, para el caso que nos ocupa en esta investigación se tiene que en el sector Noina-Curiapo se draga anualmente 700.000 m<sup>3</sup> anuales.

Tabla 5.3 Volumen promedio anual a dragar en los sectores del río Orinoco (INC, 2011).

SECTOR	VOLUMEN ESTADÍSTICO A DRAGAR
PALO SOLO	550.000
SAN FELIX	800.000
ARAMAYA	2.000.000
GUARGUAPO	2.700.000
BARRANCAS	550.000
YAYA	1.400.000
ARAGUAITO	100.000
SACUPANA	300.000
GUASINA	2.500.000
CURIAPO	700.000
<b>TOTAL C.I.</b>	<b>11.600.000</b>
0-10	1.800.000
10-20	2.400.000
20-36	1.600.000
36-40	1.200.000
<b>TOTAL C.E.</b>	<b>7.000.000</b>

Cabe destacar que el sector Noina- Curiapo, durante el período analizado, fue intervenido fundamentalmente con dragas autopropulsadas de tolva (Draga Guayana) con una capacidad de dragado nominal de 24000 m<sup>3</sup>/día (medida en planos en el Canal interior) que se redujo sensiblemente desde 11600 m<sup>3</sup> (48.33%) a 8200 m<sup>3</sup> (34.16%) aproximadamente (Figura 5.8). Por otra parte, es necesario puntualizar algunos datos importantes sobre el comportamiento de la draga durante su ciclo de dragado:

Velocidad de dragado:	3 a 5 nudos
Velocidad de navegación:	10 nudos
Tiempo de descarga de tolvas:	10 min/ciclo
Distancia promedio del corte a la descarga:	3 milla náutica
Tiempo promedio del ciclo de dragado:	1.35 hr
Número de ciclos de dragado al día:	12
Producción de dragado (en planos) diaria:	11000 m <sup>3</sup>



Figura 5.8 Draga Guayana (Marine Traffic, 2020).

### 5.3 Identificación de las actividades de un proyecto de dragado en el río Orinoco

A continuación, se identificarán las actividades que integran un proyecto de dragado en el río Orinoco, considerando el caso de dragado del sector Noina – Curiapo en el estado Delta Amacuro. En ese sentido, tenemos las siguientes actividades y sus duraciones estimadas (optimista, probable y pesimista) con base a los registros históricos de las bitácoras de seguimiento y control de las unidades operativas de la CVG-GCNO (Tabla 5.4):

Tabla 5.4 Actividades sus duraciones que integran un proyecto de dragado del sector Noina-Curiapo basado en los registros históricos del INC.

Item	Actividad	Duración (días)		
		Top	T pro	Tpes
1	<b>Movilización y preparativos</b>			
1.1	Traslado draga PZO a Curiapo	12.0	13.3	15.0
1.2	Sondeo batimétrico del sector	6	10	20
1.3	Emisión de la directiva u orden de dragado	1	2	4
1.4	Posicionamiento de la draga	1	2	4
2	<b>Actividades vinculadas al Dragado</b>			
2.1	Succión del material y llenado de tolva	42	50	68

2.2	Medición de material dragado en tolva y medido por instrumentos	5	7.5	9
2.3	Navegación a la descarga	2	4	6
2.4	Descarga del material	1	3	8
2.5	Navegación al corte de dragado	2	4	6
3	<b>Actividades logísticas</b>			
3.1	Cese y mantenimiento programado	6	12	18
3.2	Aprovisionamiento de la draga	3	4.5	9
4	<b>Actividades imprevistas</b>			
4.1	Reparaciones	1	6	15
4.2	Aprovisionamiento no programado	1	3	6
4.3	Área descarga colapsada	1	2	4
4.4	Tráfico de buques	2	5	12
5	<b>Cierre del proyecto</b>			
5.1	Control hidrográfico final	1	2	3
5.2	Evaluación de tiempo invertido, profundidades alcanzadas y volúmenes dragados	1	2	4
5.3	Navegación Curiapo - PZO	12.0	13.3	15.0
6	<b>Fin de proyecto</b>			

Nota: Top: tiempo optimista, Tpro: tiempo probable, Tpes: tiempo pesimista

Cabe destacar que los estándares de operaciones de dragado que se mantenían para el período comprendido en esta investigación, para una gestión eficiente del proyecto de dragado debería observar la siguiente distribución del tiempo diario de operaciones (Figura 5.5):

Tabla 5.5 Distribución estándar de tiempos de operación de las dragas (INC, 2004).

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>% de tiempo diario</b>
<b>Tiempo efectivo</b>		70
	Dragado	
	Navegación a la descarga	
	Descarga	
	Navegación al corte	
<b>Tiempo no efectivo</b>		25
	Mantenimiento programado	
	Aprovisionamiento	
<b>Tiempo perdido</b>		5
	Reparaciones	
	Retardos logísticos	

	Tráfico de buques	
	Otros	

Sin embargo, considerando los valores de distribución de tiempos Efectivos (Item 2), No efectivos (Item 3) y Perdidos (Item 4) de la draga Guayana alcanzados durante el periodo evaluado presentados en la tabla 5.4 se observan diferencias perjudiciales (Figura 5.9) los cuales incidieron en los valores de producción para la época los cuales estaban lejos de acercarse a los estándares; evidenciado en una reducción de 51.67% de la producción nominal de 24000 m<sup>3</sup>/día a 11600 m<sup>3</sup>/día.

Esta situación obedeció a un incremento desmesurado de los tiempos no efectivos (mantenimiento preventivo y aprovisionamiento) y de los tiempos perdidos (reparaciones).

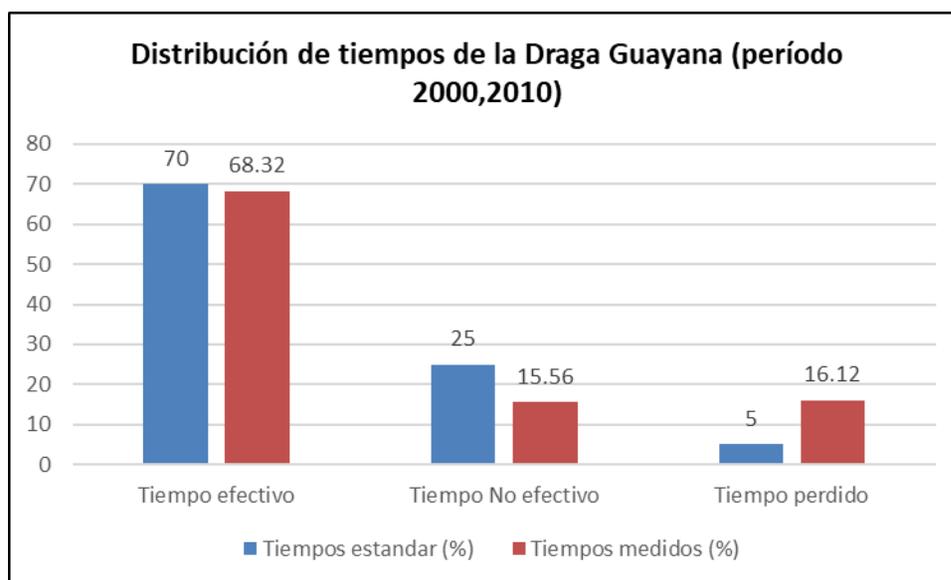


Figura 5.9 Comparación de tiempos estándar y tiempos medidos de la draga Guayana en los proyectos de Noina-Curiapo.

#### 5.4 Jerarquización de los factores incidentes en la duración de las actividades de un proyecto de dragado en el río Orinoco

En el diagrama Causa – Efecto (Ishikawa) siguiente (Figura 5.10) se han identificado los factores de riesgo que inciden negativamente en la duración de las actividades que integran los proyectos de dragado que se han ejecutado en el sector Noina – Curiapo.



Figura 5.10 Diagrama Causa – Efecto donde se identifican los factores de riesgo.

De las bitácoras de la CVG-GCNO se obtuvo que durante el período 2000 – 2010 se produjeron un total de 131 eventos vinculados a los dieciseis (16) factores de riesgo que de alguna manera incidieron negativamente en la duración de las

actividades que integraban los proyectos de dragado del sector Noina-Curiapo (Tabla 5.6)

Tabla 5.6 Identificación de factores de riesgo que inciden en la duración de las actividades del proyecto de dragado del sector Noina-Curiapo.

<b>FACTORES DE RIESGO QUE INCIDEN EN LA DURACIÓN DE LOS PROYECTOS DE DRAGADO</b>			
<b>PERÍODO 2000 - 2010</b>			
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL FACTOR DE RIESGO</b>	<b>TIPO DE FACTOR DE RIESGO</b>	<b>FRECUENCIA DE OCURRENCIA</b>
1	Suspensión por Reparación del equipo	técnico	28
2	Suspensión por Tráfico intenso	técnico	17
3	Area de descarga colapsada	técnico	21
4	Material del lecho problemático	técnico	5
5	Ciclo de dragado extenso	técnico	8
6	Condiciones del sector desconocidas	técnico	1
7	Retardos en aprovisionamiento	Logísticos	21
8	Partes y repuestos de difícil adquisición	Logísticos	2
9	Retardos en cambios de guardia	Logísticos	6
10	Accidentes de trabajo	Logísticos	2
11	Condiciones climáticas adversas	Ambientales	6
12	Retrabajo por incompetencia del personal	Gestión	8
13	Actitud desmotivada del personal	Gestión	3
14	Huelgas laborales	Gestión	1
15	Variabilidad y dificultades cambiarias	Financieras	2
Total de ocurrencia de eventos			<b>131</b>

Con la finalidad de jerarquizar estos factores de riesgo en función de su mayor ocurrencia durante el período de estudio, se elaboró la Tabla 5.7 en la cual se

presentan los factores de riesgo antes identificados pero ahora ordenados de acuerdo a su frecuencia de ocurrencia.

Con dicha información se construyó un Diagrama de Pareto (Figura 5.11) en el cual se puede observar que sólo cuatro (4) factores de riesgo (26.6%) del total de 15 condiciones de riesgo implican el 87% de ocurrencia de eventos que significaron retardo de las actividades de los proyectos de dragado.

Tabla 5.7 Jerarquización ordenada de los factores de riesgo.

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL FACTOR DE RIESGO	TIPO DE FACTOR DE RIESGO	FRECUENCIA DE OCURRENCIA ORDENADA
14	Huelgas laborales	Gestión	1
6	Condiciones del sector desconocidas	técnico	1
10	Accidentes de trabajo	Logísticos	2
15	Variabilidad y dificultades cambiarias	Financieras	2
8	Partes y repuestos de difícil adquisición	Logísticos	2
13	Actitud desmotivada del personal	Gestión	3
4	Material del lecho problemático	técnico	5
11	Condiciones climáticas adversas	Ambientales	6
9	Retardos en cambios de guardia	Logísticos	6
12	Retrabajo por incompetencia del personal	Gestión	8
5	Ciclo de dragado extenso	técnico	8
2	Tráfico intenso	técnico	17
3	Area de descarga colapsada	técnico	21
7	Retardos en aprovisionamiento	Logísticos	21
1	Reparación del equipo	técnico	28
Total de ocurrencia de eventos			<b>131</b>

En ese orden de ideas, se puede observar en la siguiente Figura 5.11 la fundamental importancia de los siguientes cuatro (4) factores de riesgo que inciden en la duración de las actividades del proyecto:

1. Reparación por fallas en el equipo obligando al cese de operaciones de dragado para ejecutar las labores de mantenimientos correctivos.
2. Retardos en los procesos de aprovisionamiento (agua, comida, lubricantes, combustible, entre otros)
3. Área de descarga colapsada por colmatación por efecto de las corrientes
4. Tráfico intenso de buques que implican el cese de operaciones de dragado mientras los buques atraviesan el canal dragado

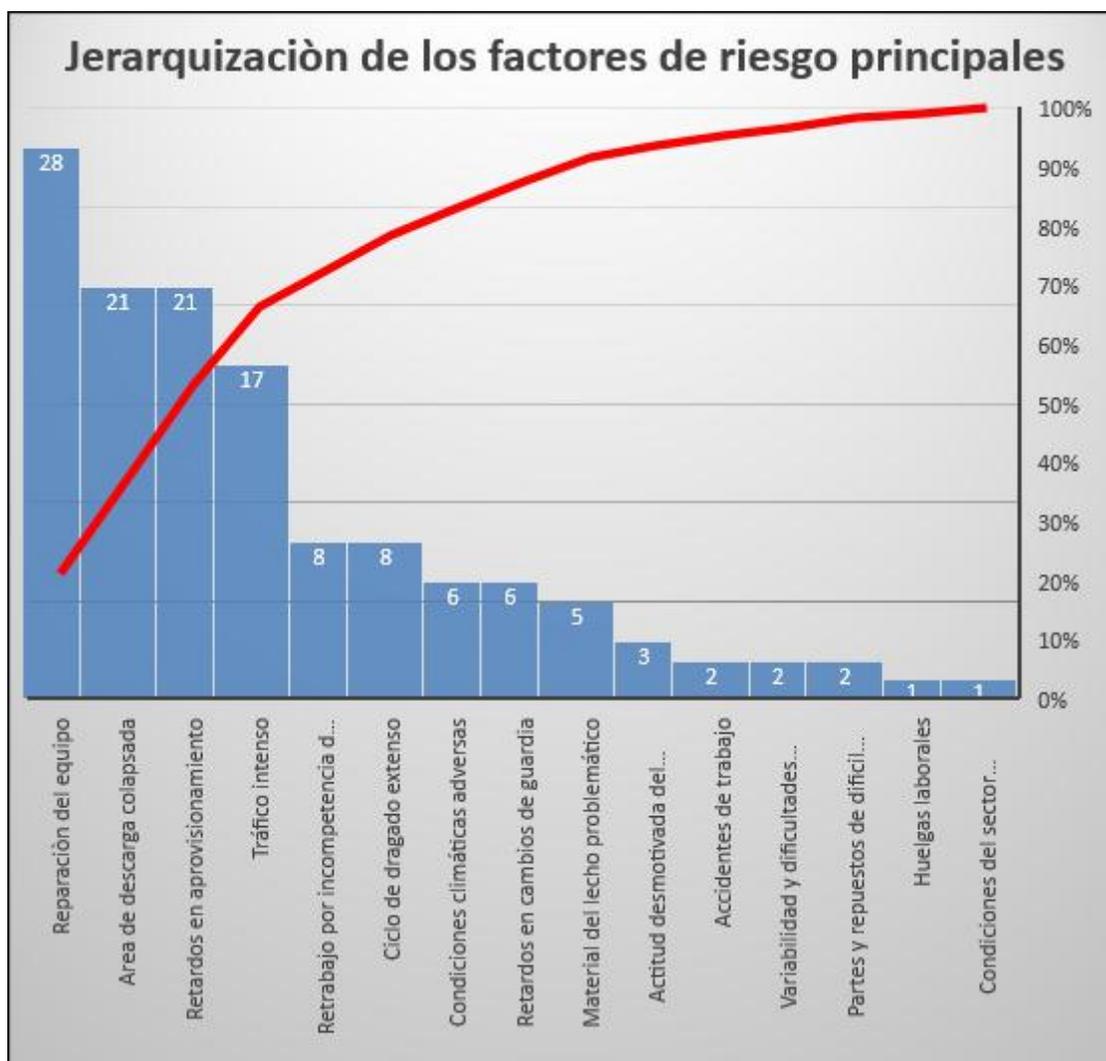


Figura 5.11 Diagrama de Pareto mostrando los 4 factores que concentran más del 87% de incidencia sobre la duración de las actividades.

Seguidamente, serán considerados como factores de riesgo importantes los cuatro (4) señalados, los cuales incidieron definitivamente en la alteración de los tiempos estándares de producción de la draga Guayana durante el período analizado en la ejecución de los proyectos de dragado del sector Noina-Curiapo.

### **5.5 Estimación de la duración de las actividades mediante simulación de Montecarlo**

A continuación, se presenta la Tabla 5.9 la cual contiene 9 columnas que contienen: el número del ítem, la descripción de la actividad del proyecto, los tiempos optimista (T op), más probable (T pro) y pesimista (T pes) extraídos de los registros históricos de dragado del sector Noina-Curiapo, el tiempo esperado (T esp) estimado con base a la fórmula de PERT (*Program Evaluation and Review Technique*), recordando que este es un modelo inventado para la administración y gestión de proyectos en el año 1957 por la Oficina de Proyectos Especiales de la Marina de Guerra del Departamento de Defensa de Estados Unidos de América. Como bien se sabe es una técnica de análisis de redes usada para estimar la duración de un proyecto cuando se tiene un grado de incertidumbre en los estimativos de duración individuales de las actividades.

Como herramienta disponemos para estimar las duraciones de las actividades, la distribución BETA, que es una familia de distribuciones de probabilidad continua definidas en un intervalo (0 a 1). Puede tomar muchas formas según los valores de las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  (Figura 5.12).

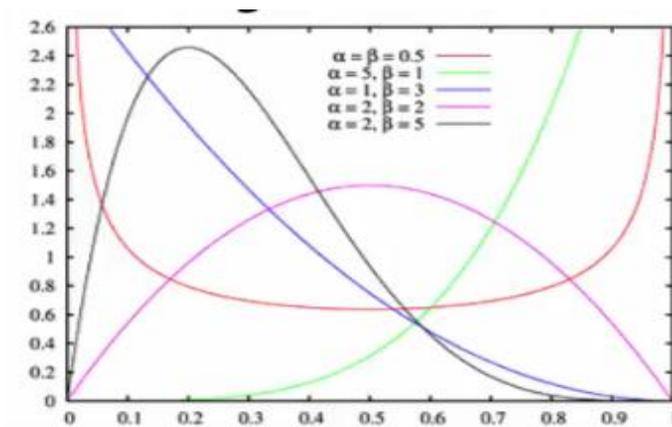


Figura 5.12 Familia de distribuciones Beta.

Ahora bien, cuando los datos históricos no poseen la solidez requerida en los cuales basar la estimación, se establece una relación entre PERT y BETA, a través de la fórmula del Tiempo esperado (T esp):

$$T_{\text{esp}} = (T_{\text{op}} + 4 T_{\text{prob}} + T_{\text{pes}}) / 6 \quad (5.1)$$

$$T_{\text{esp}} = \text{Media } (\mu) = P_{50}$$

Y de la Desviación estándar ( $\sigma$ ):

$$\sigma_N = (T_{\text{pes}} - T_{\text{op}}) / 6 \quad (5.2)$$

Varianza:

$$\text{Varianza} = \sigma^2 \dots\dots\dots(5.3)$$

Luego, en las columnas 7, 8 y 9 de la Tabla 5.9 se presentan las bases para la determinación de la duración aleatoria de las actividades del proyecto y una primera aproximación de la duración aleatoria del proyecto.

En ese sentido, se presenta la desviación estándar ( $\sigma$ ), el valor probabilístico obtenido con base a la generación de números pseudo-aleatorios y finalmente, la duración aleatoria de cada actividad con base a los valores probabilístico, de la media de los valores deterministas históricos, y al valor de la desviación estándar antes determinados.

En la Tabla 5.8 se presenta la hoja de cálculo, con la identificación de filas y columnas, con las respectivas fórmulas en la fila 4 para la determinación de los valores de cada celda de la fila 7 (F7, G7, H7 e I7) (Actividad: Traslado draga PZO a

Curiapo), se debe resaltar que las mismas fórmulas aplican para las subsiguientes (fila 8 a la fila 28).

De acuerdo al criterio del Método de Montecarlo, mientras mayor cantidad de iteraciones aleatorias se estimen para la determinación de la duración estocástica de las actividades del proyecto y del proyecto mismo, más cercana a la realidad estará esta estimación. En el presente caso, se realizarán 10000 iteraciones para la misma fórmula del valor de la duración aleatoria.

Tabla 5.8 Estimación determinista y estocástica de la duración de las actividades y del proyecto de dragado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ESTIMACIÓN DE LA DURACIÓN DETERMINISTA Y ALEATORIA DE LAS ACTIVIDADES Y DEL PROYECTO DE DRAGADO NOINA-CURIAPO								
2			Duración tiempos Beta PERT (días)				Desviación	Valor	Duración
3	Item	Actividad	T op	T prob	T pes	Tesp = $\mu = P50$	estandar ( $\sigma$ )	Probabilístico	aleatoria
4		FÓRMULAS PARA LA FILA 7:				$=(C7+4*D7+E7)/6$	$=(E7-C7)/6$	$=ALEATORIO()$	$=INV.NORM(H7,F7,G7)$
5	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	1	Movilización y preparativos	20.0	27.3	43.0	28.7			27.8
7	1.1	Traslado draga PZO a Curiapo	12.0	13.3	15.0	13.37	0.50	0.4721	13.33
8	1.2	Sondeo batimétrico del sector	6.0	10.0	20.0	11.00	2.33	0.3156	9.88
9	1.3	Emisión de la directiva u orden de dragado	1.0	2.0	4.0	2.17	0.50	0.5556	2.24
10	1.4	Posicionamiento de la draga	1.0	2.0	4.0	2.17	0.50	0.6786	2.40
11									
12	2	Actividades vinculadas al Dragado	52.0	68.5	97.0	70.5			69.3
13	2.1	Succión del material y llenado de tolva	42.0	50.0	68.0	51.67	4.33	0.4379	50.99
14	2.2	Medición de material dragado en tolva y medido por instrumentos	5.0	7.5	9.0	7.33	0.67	0.7738	7.83
15	2.3	Navegación a la descarga	2.0	4.0	6.0	4.00	0.67	0.5900	4.15
16	2.4	Descarga del material	1.0	3.0	8.0	3.50	1.17	0.2304	2.64
17	2.5	Navegación al corte de dragado	2.0	4.0	6.0	4.00	0.67	0.3311	3.71
18									
19	3	Actividades logísticas	9.0	16.5	27.0	17.0			18.2
20	3.1	Cese y mantenimiento programado	6.0	12.0	18.0	12.00	2.00	0.6268	12.65
21	3.2	Aprovisionamiento de la draga	3.0	4.5	9.0	5.00	1.00	0.7262	5.60
22									
23	4	Actividades imprevistas	5.0	16.0	37.0	17.7			18.3
24	4.1	Reparaciones	1.0	6.0	15.0	6.67	2.33	0.3397	5.70
25	4.2	Aprovisionamiento no programado	1.0	3.0	6.0	3.17	0.83	0.6015	3.38
26	4.3	Área descarga colapsada	1.0	2.0	4.0	2.17	0.50	0.4525	2.11
27	4.4	Tráfico de buques	2.0	5.0	12.0	5.67	1.67	0.8010	7.08
28									
29	5	Cierre del proyecto	14.0	17.3	22.0	17.5			16.1
30	5.1	Control hidrográfico final	1.0	2.0	3.0	2.00	0.33	0.0444	1.43
31	5.2	Evaluación de tiempo invertido, profundidades alcanzadas y volúmenes dragados	1.0	2.0	4.0	2.17	0.50	0.1316	1.61
32	5.3	Navegación Curiapo - PZO	12.0	13.3	15.0	13.37	0.50	0.2981	13.10
33									
34	6	Fin de proyecto							
35		Duración del proyecto	Duración determinista=	180.0	263.9	409.0	274.1	Duración aleatoria=	271.8
36	NOTA: T op: tiempo optimista, T prob: tiempo probable, T pes: tiempo pesimista, T esp: tiempo esperado								

Sin embargo, con la finalidad de realizar suficientes iteraciones (10000 iteraciones), se procede como se indica a continuación:

1. Se construye una tabla de dos (2) columnas, la primera denominada Serie, con los números del 1 al 10000 y la segunda, denominada Estimaciones,
2. Se copia, en la primera celda en la columna Estimaciones, el resultado de la sumatoria final de la columna de Duración Aleatoria del proyecto de la Tabla 5.8,
3. Se selecciona toda la tabla para las 10000 iteraciones,
4. Se selecciona el menú Datos → Análisis de hipótesis → Tabla de datos.
5. En el cuadro de dialogo Tabla de datos, en la casilla: *Celda de entrada columna*, posicionar el cursor en una celda vacía en el lado derecho de la tabla y oprimir *Aceptar*.
6. Aparecerán los 10000 resultados de las iteraciones.
7. En vista de que la data de las Estimaciones varía, seleccionar toda la tabla y pegar los valores al lado para que estos no varíen.
8. Seleccionar toda la columna de valores de Estimaciones, seleccionar del Menu Datos → Análisis de datos → Estadística descriptiva
9. Escoger como Rango de entrada seleccionando todos los valores de la columna Estimaciones → Seccionar Resumen de estadísticas
10. Posicionar el cursor en la celda vacía donde desea pegar el Resumen
11. Se despliega un cuadro con los estadísticos de las 10000 estimaciones

Tabla 5.9 Simulación de Montecarlo para 10000 iteraciones.

<b>Serie</b>	<b>Estimaciones aleatorias</b>		<b>Serie</b>	<b>Estimaciones aleatorias</b>
1	271.8		1	287.4137573
2	276.5617669		2	272.7062213
3	252.996064		3	286.2384094
4	282.6569204		4	248.5484354
5	273.1499334		5	261.8786326
6	276.4295149		6	278.0703903
7	295.6016937		7	282.7652136
8	280.8003173		8	272.1175389
9	268.6053939		9	286.6944525
10	276.892668		10	269.3602697

9990	289.1868296		9990	260.3779112
9991	291.3495487		9991	293.0663288
9992	279.3976764		9992	288.246552
9993	263.6291301		9993	265.2601315
9994	262.9525429		9994	286.4234635
9995	279.8901682		9995	258.6575028
9996	264.3361623		9996	276.495499
9997	262.6391428		9997	285.9611938
9998	262.8453525		9998	280.5172188
9999	271.1802357		9999	254.5054066
10000	256.5718122		10000	263.3155835

Se extraen los parámetros estadísticos de la serie de los 10000 resultados obtenidos:

Tabla 5.10 Parámetros estadísticos de la serie de las 10000 iteraciones.

<i>Estadísticos de los resultados estocásticos</i>	
Media	273.8718467
Error típico	0.12327627
Mediana	273.888479
Moda	#N/A
Desviación estándar	12.32762704
Varianza de la muestra	151.9703885
Curtosis	0.016512335
Coefficiente de asimetría	-0.000945762
Rango	98.3172716
Mínimo	222.5338193
Máximo	320.8510909
Suma	2738718.467
Cuenta	10000

50%	273.8718467	El valor medio de las estimaciones aleatorias se corresponde con el 50%
274.1	51%	El valor determinístico esperado se corresponde con el 51%

De las 10000 iteraciones se deduce que el proyecto de dragado completo tendrá una duración de 273.87 días lo cual se corresponde con el p50 de la distribución normal; sin embargo, las actividades de la draga en el sector propiamente dicho se realizarían en 105.2 días.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. En las secciones transversales se observaron que su mayor profundidad desde la milla 51,8 hasta la milla 54,8 se ubican hacia el margen sur del sector Noina-Curiapo.

2. La pendiente Hidráulica del sector Noina-Curiapo es 0,000016 m/m y la pendiente de lecho tiene 0,00456 m/m, y los niveles máximos y mínimo registrado en el sector son 1,72 m y 0,1 m respectivamente.

3. De la información recopilada se desprende que la esfericidad y redondez de los sedimentos del sector, estos son partículas con poco transporte, angulosas y sub-angulosas mayoritariamente. Así mismo la distribución granulométrica de las partículas del lecho muestra que están conformados por arenas medias, clasificadas como SP de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

4. La distribución de tiempos de las operaciones de dragado en el sector Noina-Curiapo, durante el período 2000 – 2010 presentaron resultados inferiores a los estandar: Tiempo efectivo: 68% / 75%, Tiempo no efectivo: 16% / 20% y Tiempo perdido: 16% / 5%

5. Se identificaron dieciocho (18) actividades que integran los proyectos de dragado del sector Noina – Curiapo efectuadas por la draga de tolva Guayana durante el período 2000 – 2010, los cuales se agrupan en cinco (5) tipos de actividades: preparatorias, dragado en sitio, actividades logísticas, actividades no programadas y actividades de cierre.

6. A través del diagrama de causa efecto (de Ishikawa) se identificaron dieciséis (16) factores de riesgo que fueron detectados un total de 131 veces agrupados en cinco (5) tipos de riesgos: 6 Técnicos, 4 de Gestión, 4 Logísticos, 1 Ambiental y 1 Financiero.

7. Mediante la construcción de un diagrama de Pareto se jerarquizaron los factores de riesgo identificados que incidían en la duración de las actividades de los proyectos de dragado en el sector Noina-Curiapo, de tal forma que se observó que sólo cuatro (4) factores (26.6% del total) incidieron en el retardo de las actividades en un 87% de las ocasiones.

8. La aplicación de un modelo estocástico de simulación de Montecarlo mediante 10000 iteraciones permitieron deducir una duración estocástica del proyecto de 273.87 días ( valor medio o el 50% de las estimaciones aleatorias) en comparación al tiempo estimado mediante la distribución BETA PERT de 274.1 días lo cual corresponde de acuerdo a la distribución normal al 51% del tiempo.

### **Recomendaciones**

Aplicar el modelo de simulación de Montecarlo en proyectos de carácter industrial, de ingeniería civil, ingeniería geológica donde no se reconozcan datos históricos confiables o sólidos con la finalidad de validar las bondades de este método de simulación.

## REFERENCIAS

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

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

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

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

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

Cázares, 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.

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

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

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

Dahuare, C., y Mariña, M. (2011) **ESTUDIO DEL FLUJO DE LOS SEDIMENTOS Y DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVAS EN EL SECTOR ARAMAYA DEL RÍO ORINOCO. ESTADO MONAGAS. VENEZUELA.** Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz.

Echeverría, L y Ochoa, J. (2010). **EVALUACIÓN DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVA EN EL SECTOR CURIAPO DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA.** Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz.

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

García, J. (2011) **ANÁLISIS DEL FLUJO DE SEDIMENTOS Y DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVAS EN EL SECTOR YAYA DEL RÍO ORINOCO. ESTADO MONAGAS. VENEZUELA.** Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz.

González De Juana et al, (1980) **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLIFERAS.** Tomo I Y Ediciones Foninves, pp23-34

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

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

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

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

Monente, J. (1990). **MATERIA EN SUSPENSIÓN TRANSPORTADA POR EL RIO ORINOCO.** Caracas.

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

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

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

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

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

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

Tippet, Abbet, Mc Carty y Stratton, E. (1970). **TRANSPORTE DE MINERAL DE HIERRO DE PUERTO ORDAZ AL MAR**. Informe para el Instituto Nacional de Canalizaciones. Caracas. Pp 21-32,45-54,63-68

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

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

Vélez, Santiago (2003) **CANALES HIDRÁULICOS PARA NAVEGACIÓN**. 13 de marzo del 2011. [http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujoencanales/canales\_navegables/index.html].

## **APÉNDICES**

**APÉNDICE A**  
**TABLAS**



A.1. Datos de Correlación de nivel, caudal y velocidad, correspondiente al sector Curiapo de la sección de aforo de Vuelta Diablo ubicada en la milla 98.3.

<b>Fecha</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Nivel de Curiapo (mts)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
04-06-1997	12779.79	0.9	1.04
03-04-1998	2227.78	0.2	0.13
03-04-1998	1383.97	0.2	0.14
03-04-1998	1275.58	0.2	0.13
03-04-1998	2716	0.2	0.28
14-04-1999	9344.14	0.5	0.74
14-04-1999	8554.6	0.5	0.63
14-04-1999	4339.37	0.5	0.34
14-04-1999	6920.77	0.5	0.55
25-08-1999	18272.26	1.6	1.04
09-12-1999	8989.19	0.6	0.76
27-03-2000	2311.12	0.24	0.18
27-03-2000	5063.64	0.24	0.4
07-09-2000	17631.88	1.3	1.28
19-12-2000	8538.45	0.48	0.73
22-03-2001	3223.05	0.22	0.25
22-03-2001	6591.17	0.2	0.55
30-06-2001	8770.47	0.8	0.63
03-12-2001	9776.81	0.51	0.79
23-03-2002	2493.46	0.2	0.4
04-07-2003	16066.44	1	1.09
25-09-2003	14404.36	1.32	0.94
19-01-2004	5130.09	0.4	0.38
05-04-2004	3199.87	0.23	0.24

A.2 Promedio de las formas de las partículas del sector Noina-Curiapo.

<b>Formas de las partículas</b>	<b>Angulosos (A)</b>	<b>Sub-angulosos (SA)</b>	<b>Sub-redondeados (SR)</b>	<b>Redondeados (R)</b>
<b>%</b>	54,31	31	11,97	2,72

A.3. Coordenadas de las secciones transversales del sector Noina-Curiapo  
(Fuente: plano batimétrico No OODB5399 del INC).

<b>Numero de Sección</b>	<b>Coordenadas Nortes</b>	<b>Coordenadas Este</b>
1	954350	728660
2	954315	729170
3	954240	729680
4	954170	730185
5	954030	730660
6	953000	731050
7	952550	731390
8	952470	731890
9	952410	732390
10	952330	732880
11	952295	733300

A.4 Hidrograma del sector Noina- Curiapo del canal de navegación del río Orinoco.

<b>Niveles Promedios MAX Y MIN del Sector Noina-Curiapo( 2000-2009)</b>			
<b>Meses</b>	<b>MAX (m)</b>	<b>PROM(m)</b>	<b>MIN(m)</b>
Enero	0.65	0.40	0.25
Febrero	0.49	0.27	0.15
Marzo	0.41	0.20	0.10
Abril	0.50	0.32	0.25
Mayo	0.90	0.70	0.31
Junio	1.25	0.95	0.60
Julio	1.65	1.25	0.72
Agosto	1.73	1.50	1.23
Septiembre	1.69	1.43	1.12
Octubre	1.40	1.20	0.80
Noviembre	1.25	0.80	0.58
Diciembre	1.00	0.57	0.40

## A.5 Análisis Granulométrico de la muestra 1 del sector Noina- Curiapo.

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>							
Peso de la muestra: 500 gr				Peso 499.07			
Tipo de suelo: lecho				Error 0.93			
Descripción: arena media							
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Tamiz (gr.)	Peso Tamiz +Suelo (gr.)	Suelo Retenido (gr)	% Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	%
10	2	652,6	66,83	14,23	2,846	2,846	97,15
20	1	496,65	571,998	75,35	15,07	17,916	82,07
35	0,5	436,91	683,72	246,81	49,36	67,3	32,72
60	0,25	547,76	563,01	15,25	3,05	70,33	29,67
120	0,125	516,78	538,37	21,59	4,32	74,65	25,35
230	0,0625	384,3	406,72	22,42	4,48	79,1	20,87
PAN	0	485,97	590,28	104,31	20,862	100,0	0,0
<p style="text-align: center;"> <i>% Suelo Grueso:</i>            79,13  <i>% Suelo Fino:</i>                20,87  <b>Total</b>    100,00% </p> <p style="text-align: center;"> <i>% Grava:</i>                      2,85  <i>% Arenas:</i>                    76,29  <i>% Finos:</i>                      20,87  <b>Total</b>    100,00% </p> <p style="text-align: center;"> <i>% Arena Fina:</i>                8,80  <i>% Arena Media:</i>              52,4  <i>% Arena Gruesa</i>            15,08  <b>Total</b>    76,29% </p>							

## A.6 Análisis Granulométrico de la muestra 2 del sector Noina- Curiapo

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>							
Peso de la muestra: 500 gr				Peso 499.21			
Tipo de suelo: lecho				Error 0,79			
Descripción: arena media							
<b>Tamiz N°</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Tamiz (gr.)</b>	<b>Peso Tamiz +Suelo (gr.)</b>	<b>Suelo Retenido (gr)</b>	<b>% Retenido</b>	<b>Porcentaje Retenido Acumulado</b>	<b>%</b>
5	4,000	585.06	624.15	39.09	7.82	7.82	92.18
10	2,000	667.62	716.880	49.26	9.85	17.670	82.33
20	1,000	496.65	647.30	150.65	30.13	47.8	52.20
35	0,500	548.91	679.43	130.52	26.10	73.90	26.10
60	0.250	515.92	629.17	113.25	22.65	96.55	3.45
120	0.125	384.27	397.84	13.57	2.71	99.3	0.73
PAN	0,0000	485.95	489.6	3.65	0.73	100.0	0.0
<i>Suelo Grueso:</i>		99,27					
<i>Suelo Fino:</i>		0,73					
				<b>Total</b> 100,00			
<i>Arenas:</i>		91,45					
<i>Finos:</i>		0,73					
				<b>Total</b> 100,00			
<i>Arena Fina:</i>		25,37					
<i>Arena Media:</i>		56,23					
<i>Arena Gruesa:</i>		9,85					
				<b>Total</b> 91,41			

## A.7 Análisis Granulométrico de la muestra 3 del sector Noina- Curiapo.

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>							
Peso de la muestra: 500 gr				Peso 499.79			
Tipo de suelo: lecho				Error 0.21			
Descripción: arena media							
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Tamiz (gr.)	Peso Tamiz +Suelo (gr.)	Suelo Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	%
10	2	652,6	681,26	13,86	2,772	2,772	97,23
20	1	496,65	672,85	176,79	35,36	38,13	61,87
35	0,5	436,91	721,5	174,18	34,84	73,0	27,03
60	0,25	547,76	634,37	118,54	23,71	96,67	3,33
120	0,125	516,78	396,27	11,94	2,39	99,06	0,94
230	0,0625	384,3	369,80	3,96	0,79	99,9	0,15
PAN	0	485,97	486,58	0,73	0,146	100,0	0,0
<p><i>% Suelo Grueso:</i> 99.85</p> <p><i>% Suelo Fino:</i> 0.15</p> <p style="text-align: center;"><b>Total</b> 100,00</p> <p><i>% Grava:</i> 2,77</p> <p><i>% Arenas:</i> 97.08</p> <p><i>% Finos:</i> 0.15</p> <p style="text-align: center;"><b>Total</b> 100,00</p> <p><i>% Arena Fina:</i> 3.18</p> <p><i>% Arena Media:</i> 58.55</p> <p><i>% Arena Gruesa:</i> 35.35</p>							

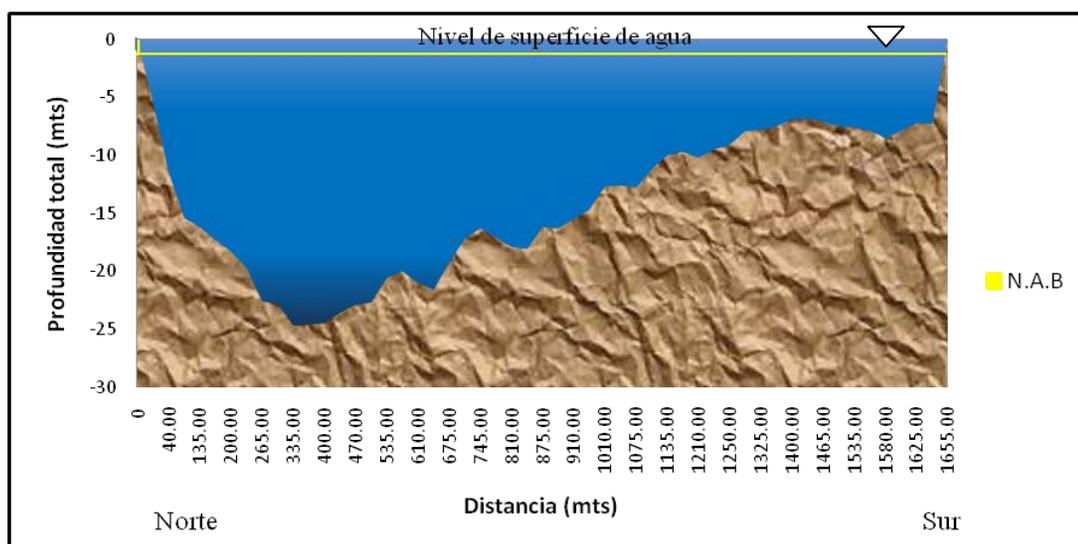
## A.8 Análisis Granulométrico de la muestra 4 del sector Noina- Curiapo.

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>							
Peso de la muestra: 500 gr				Peso 499.35			
Tipo de suelo: lecho del canal.				Error 0.65			
Descripción: arena media							
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Tamiz (gr.)	Peso Tamiz +Suelo (gr.)	Suelo Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	%
18	2	603,87	629,91	26,04	5,21	5,21	94,79
35	1	547,6	657,950	110,35	22,07	27,278	72,72
60	0,5	515,81	694,72	178,91	35,78	63,1	36,94
120	0,25	385,25	410,19	24,94	4,99	68,05	31,95
170	0,125	340,6	340,65	0,05	0,01	68,06	31,94
230	0,0625	382,64	541,18	158,54	31,71	99,8	0,23
PAN	0	485,72	486,89	1,17	0,234	100,0	0,0
<p><i>% Suelo Grueso:</i>        99.77</p> <p><i>% Suelo Fino:</i>         0.23</p> <p style="text-align: center;"><b>Total</b> 100,00</p> <p><i>% Grava:</i>                5.21</p> <p><i>% Arenas:</i>               94.56</p> <p><i>% Finos:</i>                 0.23</p> <p style="text-align: center;"><b>Total</b> 100,00</p> <p><i>% Arena Fina:</i></p> <p>31.71</p>							

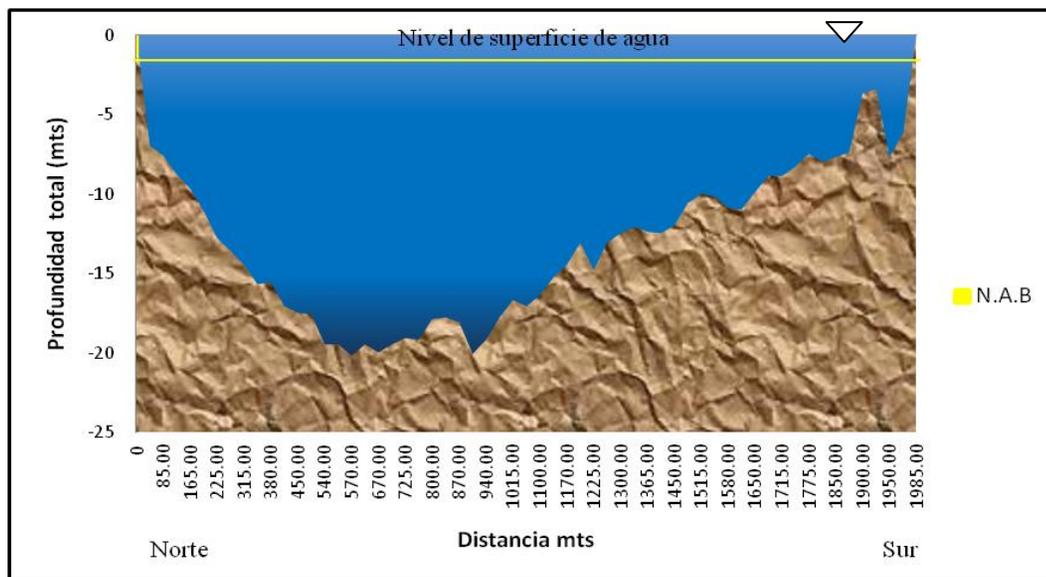
**APÉNDICE B**  
**FIGURAS**



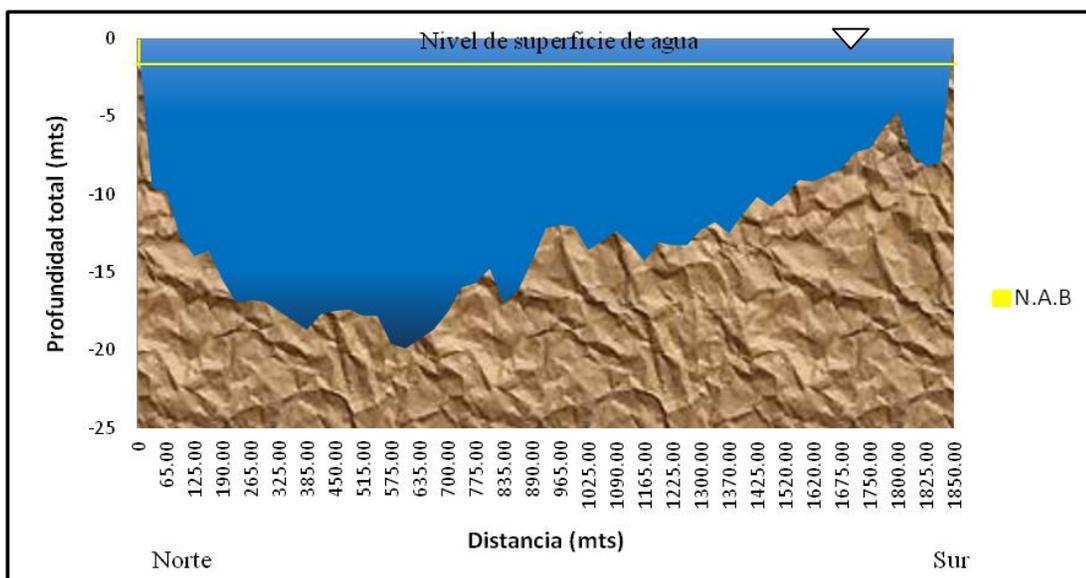
B.1 Sección transversal N° 1 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010).



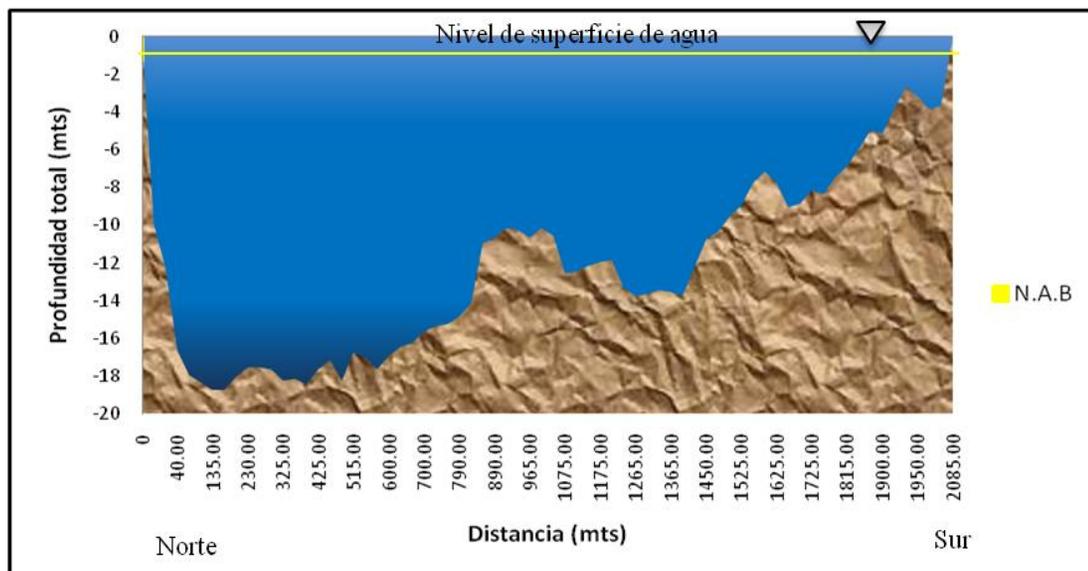
B.2 Sección transversal N° 2 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010).



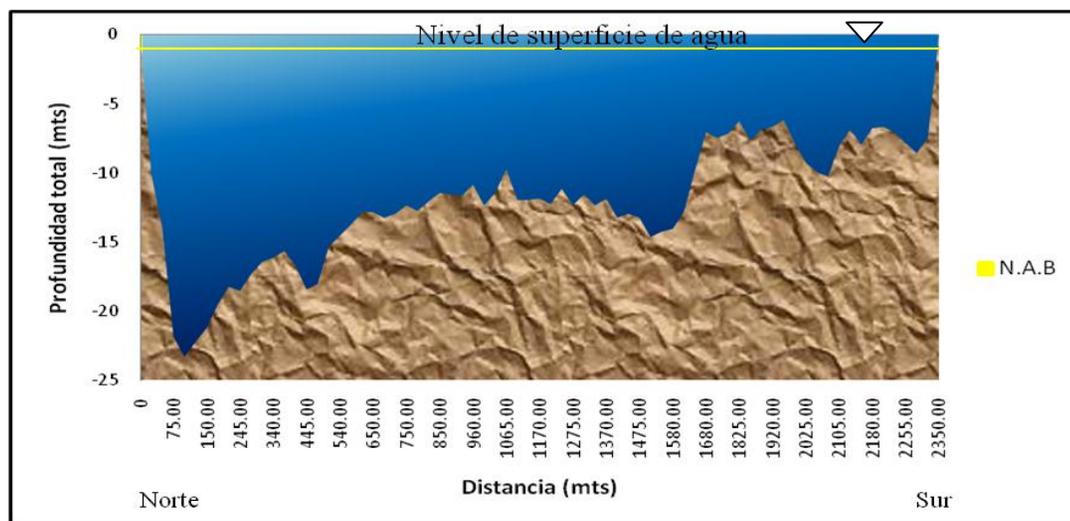
B.3 Sección transversal N° 3 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010)



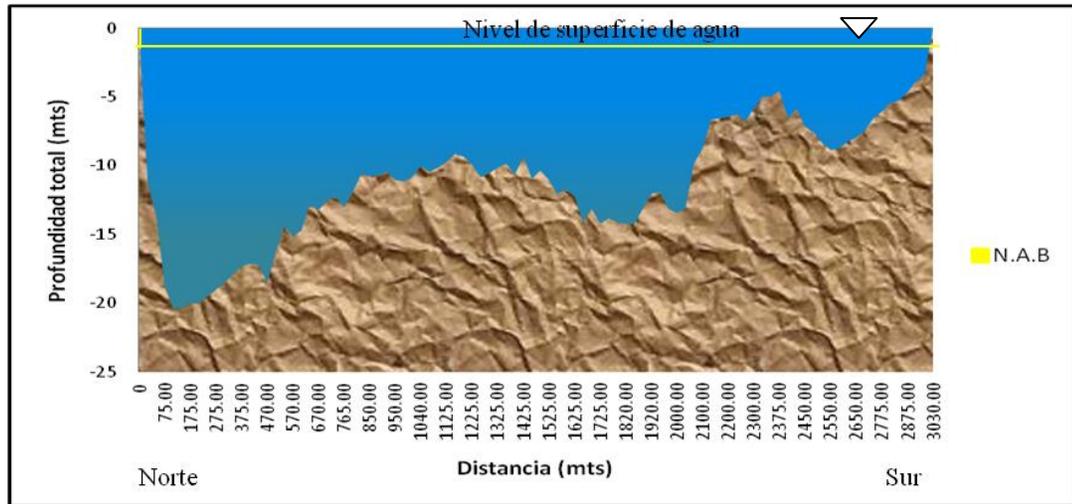
B.4 Sección transversal N° 4 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010)



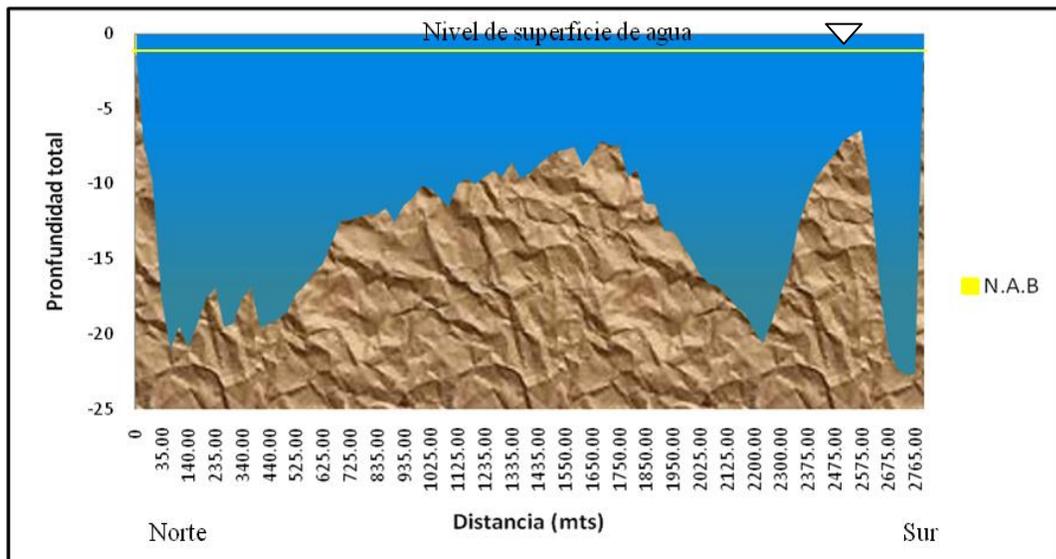
B.5 Sección transversal N° 5 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010).



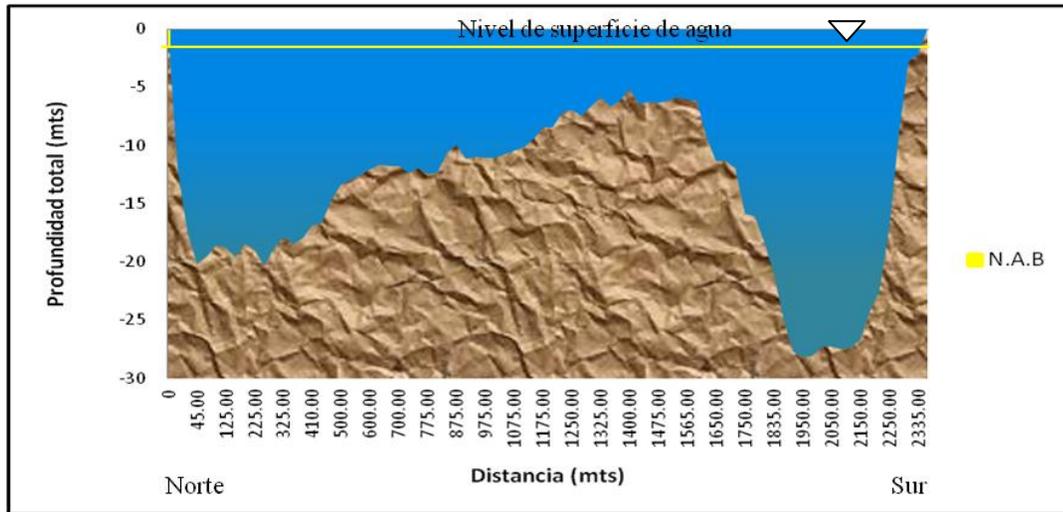
B.6 Sección transversal N° 6 en el sector Noina-Curiapo (Fuente:Echeverría y Ochoa, 2010)



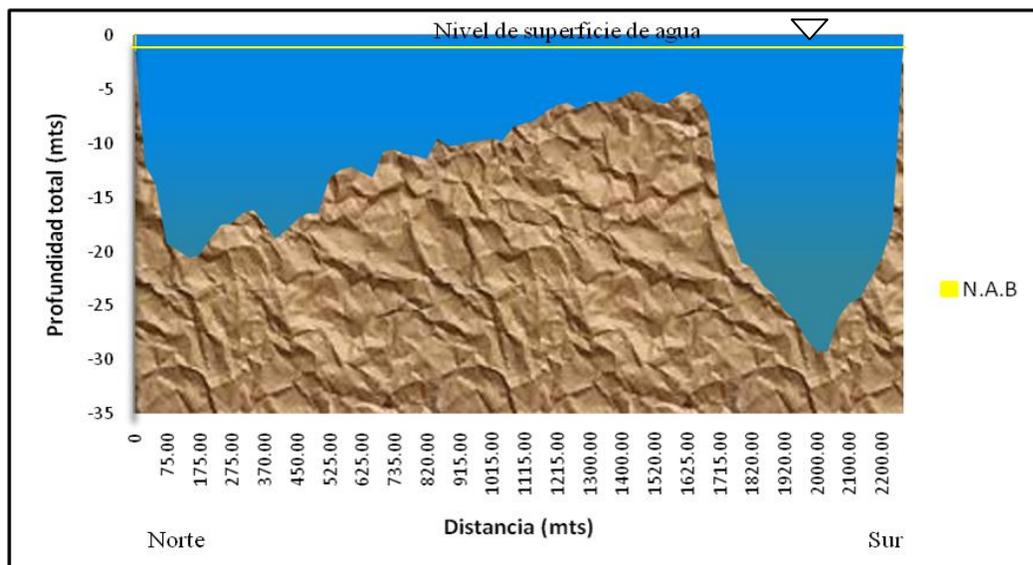
B.7 Sección transversal N° 7



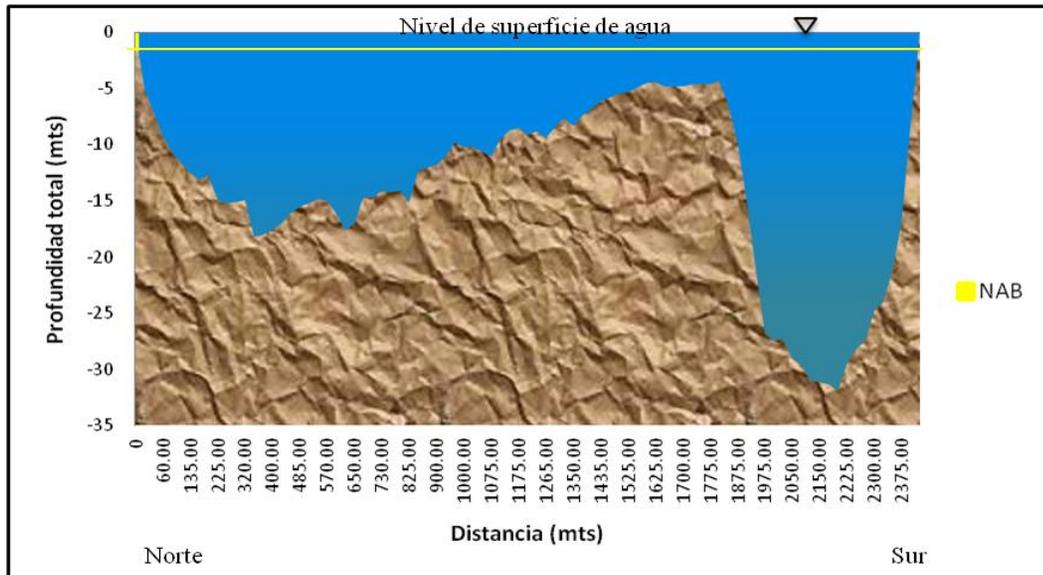
B.8 Sección transversal N° 8



B.9 Sección transversal N° 9



B.10 Sección transversal N° 10



B.11 transversal N° 11

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

<b>o</b>	<b>Título</b>	predicción estocástica de la duración de los proyectos de dragado mediante simulación de montecarlo. caso: dragado del sector noina – curiapo del río orinoco, estado delta amacuro, venezuela
	<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
Guarisma Carvajal, Isamar de la Trinidad	<b>CVLAC</b>	19.728.566
	<b>e-mail</b>	isamarguarisma@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Palabras o frases claves:

proyectos de dragado
simulación de montecarlo
sector noina curiapo del río orinoco
actividades de un proyecto de dragado

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

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Planificación de proyectos de ingeniería	Métodos estocásticos

### Resumen (abstract):

El objetivo general de la investigación es “predecir la duración de los proyectos de dragado mediante la aplicación de la simulación de Montecarlo, en el caso específico del dragado del sector Noina – Curiapo del río Orinoco”. El trabajo de investigación se enmarcó dentro de las características del nivel de investigación denominado descriptiva. Para la realización de la presente investigación se determinaron las características físicas más importantes del sector mencionado, mediante la elaboración de secciones transversales y modelos digitales de elevación del lecho, construidos con base a los levantamientos batimétricos cedidos por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC) con el fin de observar la morfología del cauce del río en el sector. Con base a los estudios de aforos realizados por el INC, se construyó un hidrograma de niveles del río, correlaciones de caudales, niveles y velocidades, así mismo se describieron parámetros hidráulicos como la pendiente hidráulica y la pendiente del lecho. Consultando a Echeverría y Ochoa (2010), se obtuvieron las características texturales del material del lecho. Este entorno físico del sector Noina-Curiapo además del conocimiento de las características funcionales de las dragas que generalmente operan en el canal de navegación del río Orinoco, permitió realizar una planificación general de un proyecto de dragado basado en los registros históricos sobre proyectos anteriores ejecutados en dicho sector. Sin embargo, la ocurrencia de variables no controladas con precisión como el clima, variaciones de los niveles del río, desempeño de los tripulantes, condiciones de tráfico de buques en el canal de navegación, desperfectos imprevistos de los equipos de dragado, entre otras, establece una alta variabilidad de rendimientos y duración de las actividades de los proyectos de dragado. Utilizando la aplicación computarizada @Risk y/o Microsoft Excel considerando el tipo de distribución estadística en la cual se enmarca cada variable, realizando 10000 iteraciones aleatorias mediante los criterios de la simulación de Montecarlo, se realizó el modelamiento de la duración del proyecto a través de la determinación de la duración de cada actividad.

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

## Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Echeverría Díaz, Dafnis José	ROL	CA <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> Tu <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	4.506.408
	e-mail	dafnisecheverriaudo@gmail.com
	e-mail	
Monteverde Sevilla, Francisco Raúl	ROL	A <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	12.192.676
	e-mail	monteverdefr@gmail.com
	e-mail	
Echeverría Coa, Beatriz Carolina	ROL	A <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	21.013.748
	e-mail	beitacaro92@gmail.com
	e-mail	
	e-mail	

## Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

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

Lenguaje: spa



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

## Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
NBOTTG_GCID2024	Application/msword

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

## Alcance:

**Espacial:** Sector Noina-Curiapo, estado Delta Amacuro, (Opcional)  
Venezuela

**Temporal:** 2024 (Opcional)

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

**Nivel Asociado con el** Pregrado  
**Trabajo:**

**Área de** Planificación de proyectos  
**Estudio:**

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

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

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

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

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

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

Cordialmente,

*[Firma]*  
**JUAN A. BOLAÑOS CURVELO**  
Secretario

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

JABC/YGC/maruja

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

### **Derechos:**

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

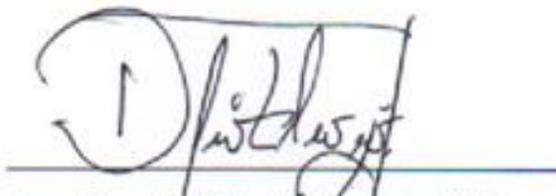
Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuído. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o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



---

Br. Isamar de la Trinidad Guarisma Carvajal

**AUTORA**



---

Ing. Esp. Dáfnis J. Echeverría D.

**TUTOR**