

**ESTUDIO BATIMÉTRICO MULTIHAZ, SOBRE EL CANAL DE ACCESO AL  
PUERTO DE BARRANQUILLA SOBRE LA HIDROVÍA RÍO MAGDALENA**

**DAVID FERNANDO MAZA HERNANDEZ**

*INGENIERO TOPOGRÁFICO*

**LINA MARIA PORTE MARTINEZ**

*INGENIERO GEÓGRAFO Y AMBIENTAL*



**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO**

**ESPECIALIZACIÓN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2021**

## RESUMEN

La finalidad primordial del presente estudio es la obtención de un modelo digital del terreno del lecho del río Magdalena en la franja del canal de acceso al puerto de Barranquilla desde la zona de Bocas de Ceniza en el mar Caribe hasta 22 km río arriba donde se encuentra ubicada la zona portuaria de la ciudad.

La metodología utilizada para el levantamiento hidrográfico es el sistema Multihaz que permite un resultado fiable y veraz sin interpolaciones de las condiciones del fondo del río en el momento del levantamiento batimétrico, datos de gran utilidad para análisis de sedimentación y en la seguridad del tránsito de las grandes embarcaciones mercantes usuarias del canal navegable.

Se tiene en cuenta para la planeación de la campaña hidrográfica los distintos factores meteorológicos, así como las condiciones meteomarinas en el momento de la captura de la información batimétrica.

Una vez obtenidos la nube densa de puntos del lecho del canal navegable se observan y georreferencian los puntos críticos de sedimentación a lo largo del área de estudio, así como distintos obstáculos que pueden afectar la seguridad en la navegación.

La utilidad del presente estudio es demostrar la suficiencia y la utilidad de la metodología multihaz en el análisis y la investigación de fenómenos hidrológicos que afectan de manera directa en este caso la operación constante del canal de acceso al puerto de la ciudad de Barranquilla.

**PALABRAS CLAVE:** Batimetría, Multihaz, ecosonda, Rio Magdalena, Barranquilla

## **ABSTRACT**

The main objective of this study is to obtain a digital model of the terrain of the bed of the Magdalena River in the strip of the access channel to the port of Barranquilla from the Bocas de Ceniza area in the Caribbean Sea up to 22 km upriver where the port area of the city is located.

The methodology used for the hydrographic survey is the Multibeam system that allows a reliable and truthful result without interpolations of the conditions of the river bottom at the time of the bathymetric survey, data of great utility for sedimentation analysis and in the safety of the traffic of the rivers. large merchant vessels that use the navigable canal.

The different meteorological factors, as well as the meteorological conditions at the time of capturing the bathymetric information, are taken into account for the hydrographic campaign planning.

Once the dense point cloud of the navigable channel bed has been obtained, the critical sedimentation points are observed and georeferenced throughout the study area, as well as different obstacles that may affect navigation safety.

The usefulness of this study is to demonstrate the sufficiency and usefulness of the multibeam methodology in the analysis and investigation of hydrological phenomena that directly in this case the constant operation of the access channel to the port of the city of Barranquilla.

**KEY WORDS:** Bathymetry, Multibeam, echo sounder, River Magdalena, Barranquilla

## TABLA DE CONTENIDO

1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO .....	9
1.1. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO .....	9
1.2. SISTEMA MONOHAZ .....	10
1.2.1. CARACTERÍSTICAS SISTEMA MONOHAZ.....	11
1.3. SISTEMA MULTHAZ.....	12
1.3.1. CARACTERÍSTICAS SISTEMA MULTHAZ .....	13
1.3.2. COMPONENTES SISTEMA MULTHAZ.....	13
1.3.3. FRECUENCIAS DE ONDA UTILIZADAS EN SISTEMAS MULTHAZ.....	14
1.3.4. COMPARACIÓN SISTEMAS MONOHAZ CON SISEMAS MULTHAZ.....	15
1.4. APLICACIONES DE LEVANTAMIENTOS BATIMÉTRICOS MULTHAZ.....	15
1.5. LEVANTAMIENTOS TOPOBATIMÉTRICOS DEL RÍO PARANÁ.....	16
1.6. APLICACIÓN DE LEVANTAMIENTOS BATIMÉTRICOS MULTHAZ EN LOS PUERTOS COLOMBIANOS .....	17
1.7. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MULTHAZ SUR DEL PACÍFICO COLOMBIANO .....	17
1.8. ACTUALIZACIÓN CARTOGRÁFICA DEL ÁREA MARÍTIMA DE ISLA GORGONA.....	18
2. METODOLOGÍA.....	19
2.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	19
2.2. PLANEAMIENTO.....	20
2.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	20
2.4. PRE-PROCESAMIENTO / PROCESAMIENTO .....	21
2.5. FUENTE DE DATOS .....	23
3. SOFTWARE.....	24
3.1. HYPACK .....	24
3.2. HYSWEEP .....	24
4. EQUIPOS.....	25
4.1. EMBARCACIONES.....	25
4.2. SISTEMA ECOSONDA MULTHAZ .....	26
5. RESULTADOS.....	26

5.1. HALLAZGO NAUFRAGIO .....	29
6. DISCUSIÓN .....	31
7. CONCLUSIONES .....	33
8. BIBLIOGRAFÍA .....	35

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Levantamiento Monohaz.....	11
Figura 2. Levantamiento Multihaz.....	13
Figura 3. Posición de sensores Sistema Multihaz.....	14
Figura 4. Comparación Levantamiento Monohaz y Levantamiento Multihaz.....	15
Figura 5. Aplicaciones de levantamientos batimétricos Multihaz.....	16
Figura 6. Localización general del proyecto.....	19
Figura 7. Recorrido Comisión Batimétrica.....	20
Figura 8. Líneas Planeadas para Cubrimiento del área de estudio.....	21
Figura 9. Pre-procesamiento de datos Multihaz.....	22
Figura 10. Procesamiento de datos Multihaz.....	23
Figura 11. Software Hypack – Hysweep.....	25
Figura 12. Ecosonda Multihaz Geoswath Plus Compact.....	26
Figura 13. Levantamiento hidrográfico.....	27
Figura 14. Nuevo puente Pumarejo.....	27
Figura 15. Bocas de Ceniza.....	29
Figura 16. Localización Obstáculo (Sector Puente Laureano Gómez).....	30
Figura 17. Magnitud del Obstáculo (Sector Puente Laureano Gómez).....	30
Figura 18. Identificación del Obstáculo (Sector Puente Laureano Gómez).....	30

## INTRODUCCIÓN

Debido al desconocimiento en el uso del sistema fluvial en el país que está compuesta por aproximadamente 956.425 km cuadrados, de ríos navegables en las cuencas: Magdalena, Orinoco, Amazonas y Atrato, que se convierten en redes de comunicación regional; y en la historia del país el río más importante es el río Magdalena, que fue fundamental para el desarrollo del país de adentro hacia afuera con una área de influencia cerca de 28 millones de colombianos (Gonzalez, 2013). Siendo así se debe generar conocimiento para mejorar la movilidad fluvial porque tiene un gran potencial en términos económicos, ya que puede transportar grandes cantidades de materiales, por ejemplo: construcción o comida a lugares donde las vías terrestres se encuentran en mal estado por sus características topográficas.

El objetivo principal del estudio trata de espacializar en tres dimensiones (X, Y, PROFUNDIDAD) para mejorar el tiempo de respuesta en los focos de sedimentación que pueden llegar a obstruir la dinámica del puerto entre Bocas de Ceniza y el Puerto Marítimo y Fluvial de la Ciudad de Barranquilla sobre el río Magdalena.

Los Levantamientos batimétricos Multihaz del canal navegable permitirán generar cartas de navegación con los cuales se podrán realizar los recorridos del afluente con seguridad, dicha información también será utilizada para cuantificar los niveles de servicio sobre la hidrovía (Profundidad, ancho y radios de curvatura).

Para efectuar la idea definida, cabe destacar la manipulación del dato hidrográfico, desde su captura hasta su procesado, ya que en función de la calidad conseguida se obtendrá un buen modelo digital del fondo marino (Balletero, 2010).

## **OBJETIVO GENERAL**

- Realizar el estudio batimétrico Multihaz entre Bocas de Ceniza y el Puerto Marítimo y Fluvial de la Ciudad de Barranquilla sobre el río Magdalena.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Modelar el lecho del río a partir de datos continuos que representen el valor de profundidad en cada punto del área de estudio.
- Analizar las características de profundidad del lecho del río para reconocer los focos de acumulación por sedimentos.

# 1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO

## 1.1. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO

Un levantamiento batimétrico es la determinación del relieve sumergido. (Eakin, 1939) afirma que el objetivo principal de cada medición batimétrica es la determinación del volumen y distribución de sedimentos acumulados durante un período de tiempo específico.

Cuando el objetivo es evaluar la velocidad de sedimentación, se determina la diferencia entre dos levantamientos batimétricos, o de lo contrario entre un levantamiento batimétrico y un levantamiento topográfico realizado antes del llenado del reservorio (Eakin, 1939).

Este proceso hace que la velocidad de sedimentación sea extremadamente sensible a errores en la obtención del volumen, donde un pequeño error en la estimación del volumen puede conducir a un gran error en la velocidad de sedimentación. Todas las técnicas conducen a errores, que deben minimizarse (Morris GL, 1998).

Los métodos más comunes para realizar levantamientos batimétricos son el método de contorno y el método de línea de rango batimétrico (Eakin, 1939) ; (Vanoni, 1977) ; (ICOLD, 1989). El primer método es el más simple y preciso para calcular la capacidad del yacimiento. Consiste en un levantamiento del área y perímetro de la superficie del agua a diferentes niveles mediante técnicas de levantamiento topográfico.

El levantamiento batimétrico de línea de rango batimétrico es más simple y rápido de realizar y se usa ampliamente (Xiaoqing, 2003). Consiste en obtener datos de profundidades en todo el embalse. Mediante técnicas de modelado de terreno en 3D (es decir, red triangular irregular (TIN),

kriging y vecino natural, entre otras), se puede determinar el relieve en el fondo del reservorio y su volumen. Los datos se recopilan generalmente en transectos transversales al cuerpo de agua. Debido a su mayor aplicabilidad, el método batimétrico de línea de rango batimétrico se considera comúnmente como el único método adecuado para realizar este tipo de estudio (Blanton, 1982).

Para la medición de profundidad, generalmente se utilizan ecosondas. Las ecosondas de haz único (SBES) proporcionan una lectura de profundidad en un solo punto por medición. Por lo general, cuentan con recopilación de datos de alta frecuencia, que proporcionan datos de manera prácticamente continua para la profundidad a lo largo de la ruta de recopilación. Las ecosondas Multihaz (MBES) tienen transductores dispuestos en ángulo, proporcionando un barrido de profundidad para un área en lugar de una sola línea. Permiten realizar un levantamiento completo del relieve del fondo y son capaces de detectar objetos que presentan peligros para la navegación (Yang, 2006) (OHI, 2011).

## **1.2. SISTEMA MONOHAZ**

A pesar de las nuevas tecnologías, las Ecosondas Monohaz (SingleBeam EchoSounder System - SBES) son actualmente los equipos más habituales y usados en los levantamientos hidrográficos. Las Ecosondas Monohaz se han transformado de dispositivos analógicos a sistemas de almacenamiento digitales, con enormes precisiones, mejores exactitudes y con funcionalidades que permiten adecuarse a variables funcionalidades. Las ecosondas digitales, los sensores de movimiento, los sistemas de posicionamiento global (GPS) y aplicaciones informáticas para adquirir los datos han sido combinados para mejorar los rendimientos y minimizar la intervención humana en los procesos de levantamientos hidrográficos (Cárdenas, 2015).

Los sistemas Monohaz utilizan un único transductor, para enviar y recibir la onda acústica, existen sistemas con un conjunto de transductores cuando se necesita mejorar la continuidad del haz (ver figura 1).

El ancho de haz está relacionado con el tamaño del transductor y de la longitud de onda, si la frecuencia es más alta y de mayor tamaño que el transductor entonces el haz ser más estrecho, dicho esto es necesario un transductor grande para obtener un haz estrecho y con frecuencias más bajas (Cárdenas, 2015).

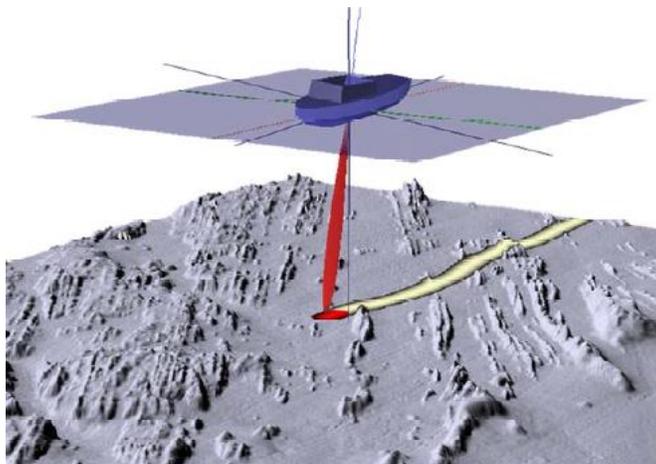


Figura 1. Levantamiento Monohaz

### 1.2.1. CARACTERÍSTICAS SISTEMA MONOHAZ

- Se utiliza un único haz vertical (uno por ping).
- El ancho del haz es espacioso.
- Se estima la distancia inclinada del haz con respecto al transductor.

- Para obtener un Modelo Digital de Terreno (DTM) es necesario interpolar líneas, consecuencia de esto es un levantamiento de menor precisión de los cuerpos de agua.

### **1.3. SISTEMA MULTHAZ**

Las Ecosondas Multihaz (MultiBeam Echosounder System- MBES) son un recurso importante para especificar el dato de profundidad aprovechando el rango de cubrimiento del fondo de los cuerpos de agua (Cárdenas, 2015).

La tecnología Multihaz es adoptada cada día con mayor regularidad por los usuarios de servicios hidrográficos, debido a su utilidad para reunir datos precisos de la totalidad de los fondos acuáticos, y lograr la producción de cartas náuticas con datos de profundidad sin ningún tipo de interpolación. (Ver figura 2). Las cartas náuticas producidas con datos Multihaz son cada vez más publicadas debido a que son un indicador de confiabilidad y seguridad para los usuarios de las hidrovías (Cárdenas, 2015).

Los sistemas Multihaz operan en principio basados en la emisión de un pulso acústico en forma de abanico enviado hacia el lecho del cuerpo de agua, la reflexión del pulso acústico desde el fondo del cuerpo de agua formando ángulos conocidos con respecto al transductor y así obtener con técnicas de procesamiento digital automatizados el valor de la profundidad en cada punto del lecho del cuerpo de agua.

La profundidad es calculada por algoritmos automatizados que basados en el tiempo de recorrido entre transmisión y recepción del pulso acústico calculan la distancia inclinada hacia el centro del transductor haciendo posible la obtención del valor de profundidad en cada punto del fondo del cuerpo de agua (Cárdenas, 2015).

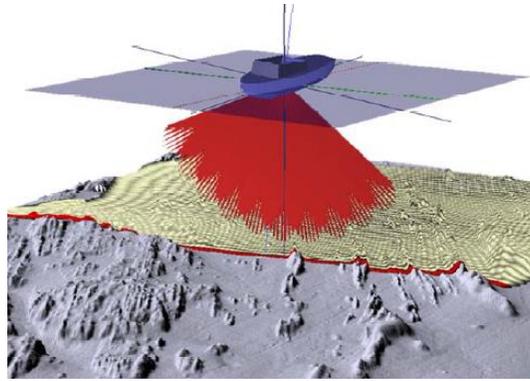


Figura 2. Levantamiento Multihaz

### 1.3.1. CARACTERÍSTICAS SISTEMA MULTHAZ

- Múltiples soluciones por ping (cientos).
- El ancho de cada haz es muy estrecho.
- Se estima el acimut y el ángulo de depresión para cada haz.
- Se obtiene una cobertura cerca del 100%.

### 1.3.2. COMPONENTES SISTEMA MULTHAZ

Los componentes del sistema Multihaz son:

- Una ecosonda Multihaz.
- Estación de operación, hardware y software de procesamiento.
- Sistema de posicionamiento, acompañado de sensor de rumbo y movimiento de la embarcación, básicamente se compone de receptores GPS, sensor de movimiento "MRU" (Motion Reference Unit).

Los sensores instalados deben ser medidos con una alta precisión. El proveedor establece el Sistema de Coordenadas y el Punto de Referencia (ver figura 3). Todos los sensores se miden en coordenadas X, Y, Z de acuerdo al plano y punto de referencia. (Cárdenas, 2015)

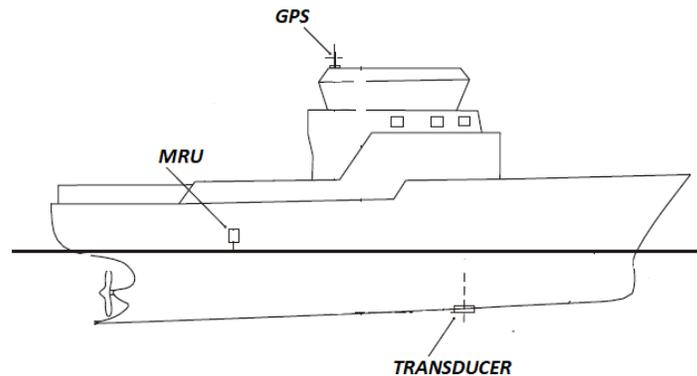


Figura 3. Posición de sensores Sistema Multihaz

Fuente: Elaboración Propia

### 1.3.3. FRECUENCIAS DE ONDA UTILIZADAS EN SISTEMAS MULTHAZ

Los pulsos acústicos utilizados en las ecosondas Multihaz corresponden comúnmente a las siguientes frecuencias:

- Cuerpos de agua con fondos menores de 100 metros: frecuencias mayores que 200 kHz.
- Cuerpos de agua con fondos menores de 1.500 metros: frecuencias de 50 a 200 kHz.
- Cuerpos de agua con fondos mayores de 1.500 metros: frecuencias de 12 a 50 kHz.
- Las frecuencias de las ecosondas para detectar capas de sedimentos están por debajo de los 8 kHz (OHI, 2011).

### 1.3.4. COMPARACIÓN SISTEMAS MONOHAZ CON SISEMAS MULTIHAZ

En los dos sistemas la huella acústica depende del ancho del haz y la profundidad, en el sistema Monohaz se interpola el valor de profundidad de acuerdo a la huella acústica registrada (ver figura 4), mientras que en el sistema Multihaz se obtiene un valor exacto para cada punto registrado en la huella acústica.

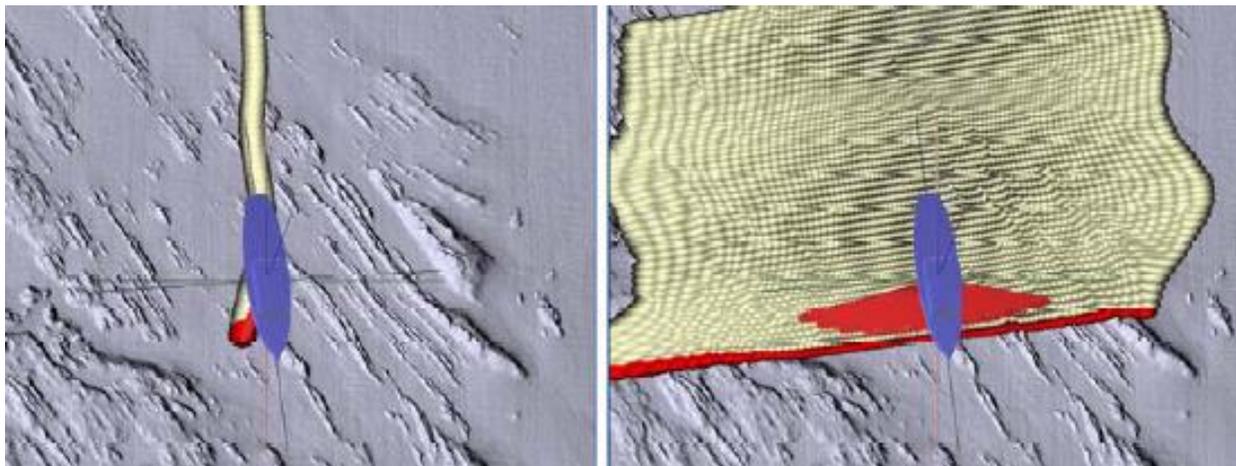


Figura 4. Comparación Levantamiento Monohaz y Levantamiento Multihaz

Fuente: Elaboración Propia

### 1.4. APLICACIONES DE LEVANTAMIENTOS BATIMÉTRICOS MULTIHAZ

Los sistemas Multihaz son utilizados mundialmente para múltiples tareas entre los que se pueden mencionar la instalación de muros de contención sobre zonas costeras, la identificación de escombros sobre aguas someras, levantamiento y construcción de pilotes para muelles, localización de naufragios, en arqueología para reconocimiento de ruinas inundadas de gran valor histórico, adicionalmente son de gran ayuda para la identificación de canales navegables seguros (Figura 5).

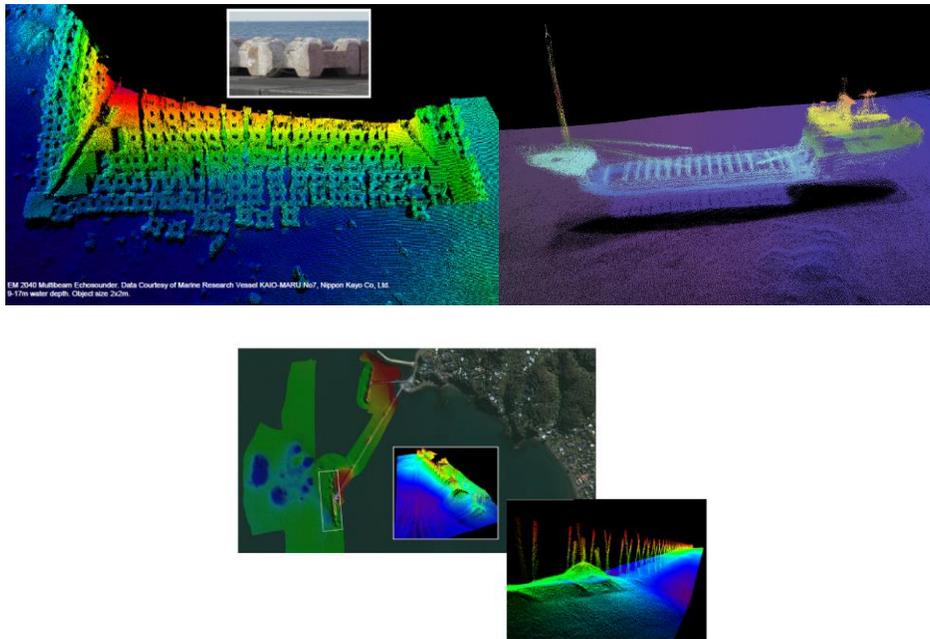


Figura 5. Aplicaciones de levantamientos batimétricos Multihaz

Fuente: Kongsberg Maritime <https://www.kongsberg.com/es/maritime/>

### 1.5. LEVANTAMIENTOS TOPOBATIMÉDICOS DEL RÍO PARANÁ

Siendo el segundo río más grande de Sudamérica pasando a su curso por países como Brasil, Paraguay y Argentina, es la hidrovía más extensa del sur del continente, siendo necesario tener actualizadas las cartas de navegación del afluente, en 2018 el instituto nacional del agua de la república Argentina realizó una gran campaña de levantamientos hidrográficos con tecnología Multihaz en los sitios críticos de navegación. (Spalletti, 2018)

## **1.6. APLICACIÓN DE LEVANTAMIENTOS BATIMÉTRICOS MULTHAZ EN LOS PUERTOS COLOMBIANOS**

A principios de la década del 2000 el centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas CIOH de la dirección general marítima DIMAR, utilizó la tecnología Multihaz para realizar levantamientos batimétricos en aguas someras y aguas profundas, de esta manera realizaron levantamientos hidrográficos en los puertos más significativos del país como lo son el golfo de Urabá, Bahía de Cartagena, Buenaventura, Bahía Málaga, Tumaco, Bahía Solano , etc., es de anotar que estos levantamientos eran realizados con periodicidad entre los años 2004 y 2008, en ese momento el uso de esta metodología represento un avance sustancial en la forma de obtener modelos digitales de terreno de los lechos acuáticos, teniendo en cuenta que al obtener gran cantidad de información se proporciona mayor confianza en la navegación adicionalmente se pueden programar y anticipar campañas de dragado obteniendo como plus el de minimizar los tiempos de levantamiento (Moreno, 2008).

## **1.7. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MULTHAZ SUR DEL PACÍFICO COLOMBIANO**

Para la exploración de hidrocarburos en Colombia en acuerdo con la Dirección General Marítima de Colombia, acordaron en 2008 realizar una campaña de levantamiento batimétrico Multihaz en el área sur del océano pacifico colombiano en profundidades variables entre 15 y 300 metros, cuya finalidad era establecer posibles bloques de exploración con el objetico de determinar la presencia de hidrocarburos.

En ese momento la metodología Multihaz era de uso exclusivo de la dirección General Marítima en su división del centro de investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH, la cual era la

única entidad colombiana que cuenta con esta tecnología, y fue aprovechada en su momento para el avance de la geología marina porque brindaba modelos digitales de elevación de gran detalle.

(Moreno, 2008)

## **1.8. ACTUALIZACIÓN CARTOGRÁFICA DEL ÁREA MARÍTIMA DE ISLA GORGONA**

La tecnología Multihaz fue utilizada para la actualización de las cartas náuticas del área de influencia marítima de la isla Gorgona, lugar de gran atractivo turístico, el levantamiento Multihaz tuvo una cobertura de 1.291 km<sup>2</sup>, proporcionando así seguridad en la navegación y genero modelos digitales del lecho marítimo que contribuyen al avance de la investigación del ecosistema marino.

(Moreno, 2008)

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto está localizado entre la desembocadura del río Magdalena en el mar Caribe Bocas de ceniza (K0+000) y el Puerto de la ciudad de Barranquilla en el departamento del Atlántico (K22+000) (Figura 6).



Figura 6. Localización general del proyecto

Fuente: Elaboración Propia

## 2.2. PLANEAMIENTO

En esta etapa se realiza la distribución de los tramos a levantar por la comisión batimétrica incluidos los brazos alternativos a explorar para lograr el cubrimiento total del área de estudio batimétrico (Figura 7).

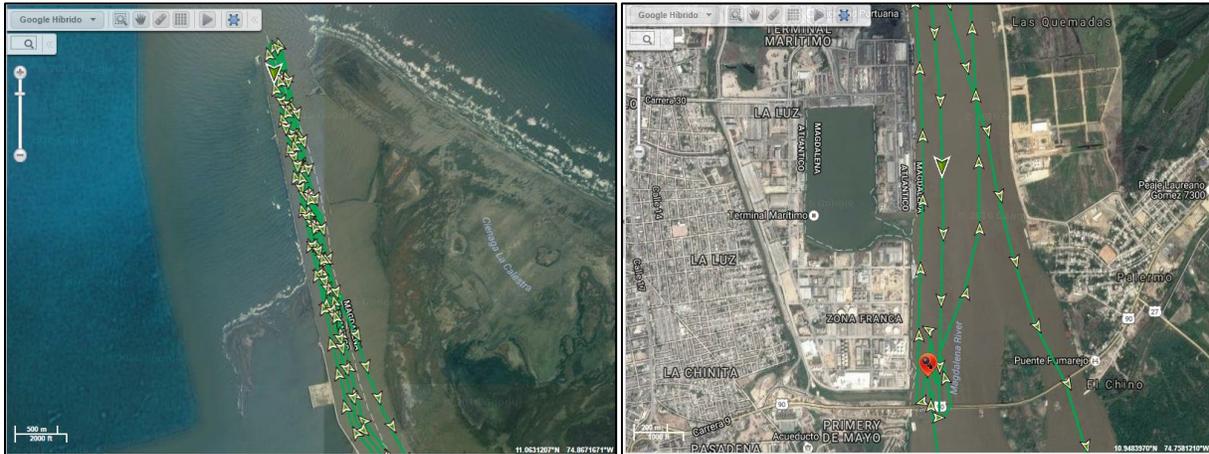


Figura 7. Recorrido Comisión Batimétrica

Fuente: Elaboración Propia

## 2.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la planeación de la campaña hidrográfica se tuvieron en cuenta factores como:

- Condiciones Geomorfológicas e Hidrográficas (corriente – tipo de fondo), con base a la geomorfología variable de esta zona del río Magdalena, se definieron las líneas de levantamiento hidrográfico teniendo en cuenta el ancho promedio del canal navegable, adicionalmente se garantizó el traslapo necesario entre las líneas de levantamiento de tal forma que la información batimétrica obtenida sea confiable y con la cobertura necesaria para cubrir el 100% del canal navegable.

- Condiciones Atmosféricas (viento y temperatura), con base en las variables atmosféricas como lo es el viento y la temperatura, se tuvo en cuenta la hora del día en que los pronósticos del IDEAM arrojaban que la velocidad del viento iba a ser segura para la ejecución de la campaña hidrográfica (ver figura 8).
- Condiciones Meteomarinas (marea, corriente, altura de la ola y viento), así mismo con base en las variables Metomarinas pronosticadas por el Centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas del caribe, se estableció que las horas de la mañana son propicias para una segura navegación y el correcto desempeño de los equipos para el levantamiento Multihaz, esto con el fin de dar seguridad al equipo encargado de la recolección de la información batimétrica.

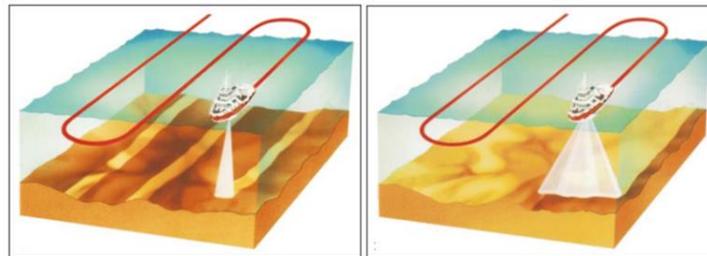


Figura 8. Líneas Planeadas para Cubrimiento del área de estudio

Fuente: Elaboración Propia

#### 2.4. PRE-PROCESAMIENTO / PROCESAMIENTO

Las características de los equipos Multihaz permiten que durante los levantamientos batimétricos se realicen filtrados previos de la información levantada. Esto hace que los datos que se reciben tengan un nivel de incertidumbre menor y se reduzcan los tiempos de procesamiento y de obtención de los productos finales (Figura 9).

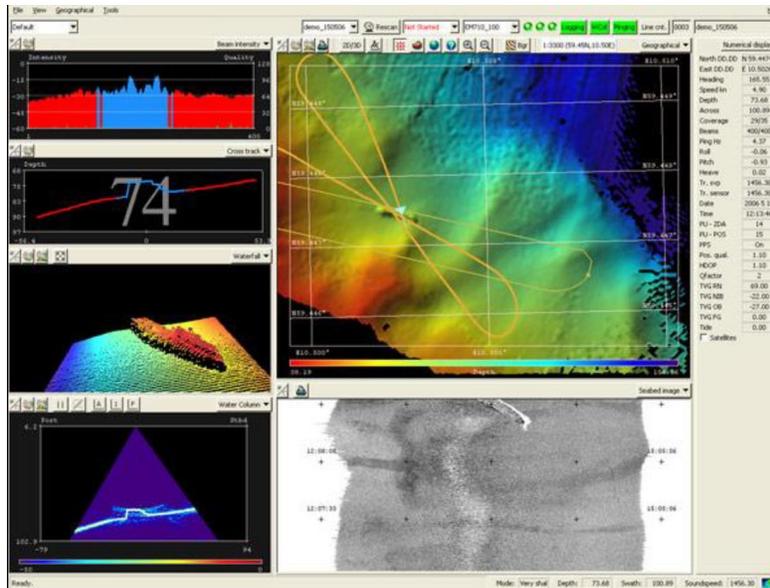


Figura 9. Pre-procesamiento de datos Multihaz.

Fuente: Elaboración Propia

En la etapa de procesamiento se revisan en detalle los tramos levantados y se aplican herramientas de filtrado estadístico de los datos.

Posteriormente, se revisa la información en tres dimensiones y se eliminan los datos detectados erróneamente (ruido, sedimentos en suspensión, objetos flotantes, etc) para así obtener el fondo exacto del canal navegable (Figura 10).

Finalmente, la información batimétrica es superpuesta a la base cartográfica de proyecto, la cual contiene informaciones tales como centros poblados, orillas del río, afluentes, ayudas a la navegación, obstáculos, etc.

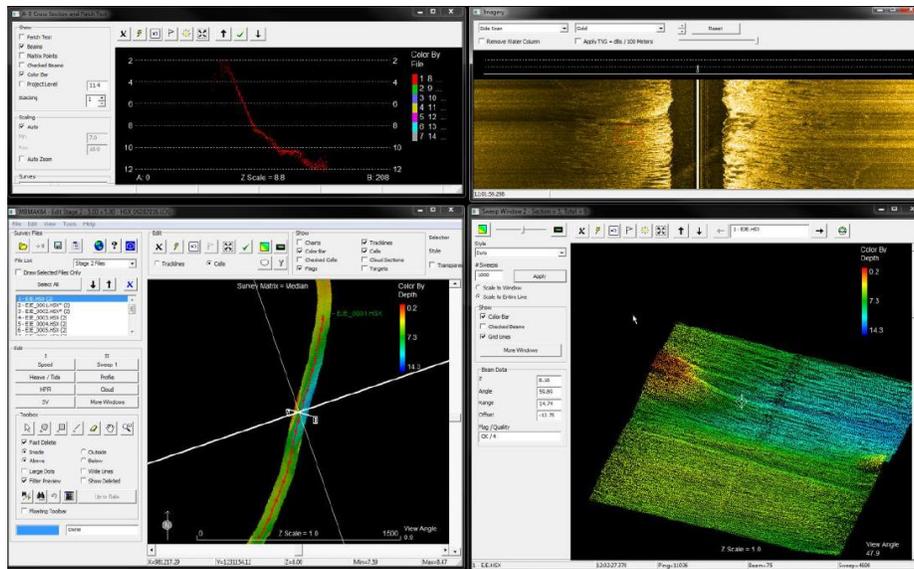


Figura 10. Procesamiento de datos Multihaz.

Fuente: Elaboración Propia

## 2.5. FUENTE DE DATOS

Los datos fueron obtenidos en el marco de la APP 001 de 2014 celebrada entre NAVELENA S.A.S y Cormagdalena, la campaña batimétrica fue ejecutada en el mes de abril de 2017, los datos pueden ser consultados en la página web de la entidad: <http://www.cormagdalena.gov.co/>, estos datos fueron utilizados como información y ayuda exclusivamente académica.

### **3. SOFTWARE**

El software utilizado corresponde a la siguiente suite de software de adquisición y post-procesamiento de datos (Figura 11):

#### **3.1. HYPACK**

- Diseñar el levantamiento.
- Colectar datos.
- Aplicar correcciones.
- Remover datos errados.
- Plotear hojas de campo.
- Exportar datos a Autocad.
- Calcular volúmenes.
- Generar isóbatas.

#### **3.2. HYSWEEP**

- Calibración.
- Colección y procesamiento de datos Multihaz.
- Integrado a todos los sistemas Multihaz de KONGSBERG.
- Está integrado a HYPACK®.

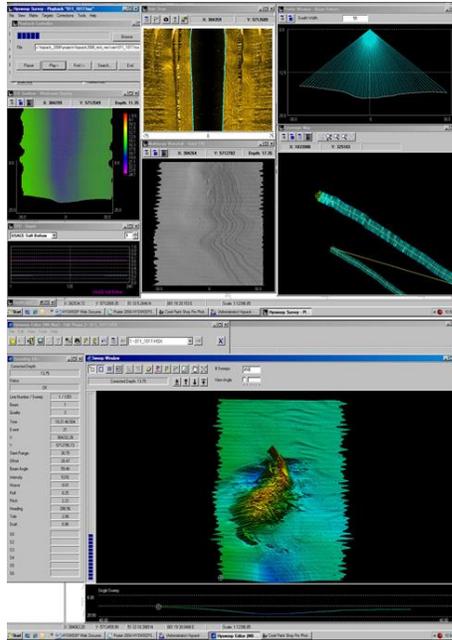


Figura 11. Software Hypack – Hysweep

Fuente: Elaboración Propia

## 4. EQUIPOS

Los equipos fueron utilizados en el marco de la APP 001 de 2014 celebrada entre NAVELENA S.A.S y Cormagdalena, en el mes de abril de 2017.

### 4.1. EMBARCACIONES

Para el tramo Bocas de Ceniza (K0+000) – Puente Laureano Gómez (K22+000) se utilizó lanchas de batimetría con las siguientes características: Fibra de Vidrio / Eslora: 7.6 Mts. / Manga: 2.2 Mts., Propulsión: Motor Volvo Penta D3 de 140 HP Diésel, Sistema de Comunicación: Radio VHF.

#### 4.2. SISTEMA ECOSONDA MULTHAZ

Para el tramo Bocas de Ceniza (K0+000) – Puente Laureano Gómez (K22+000) se utilizó la ecosonda Multihaz Kongsberg Geoswath Plus Compact con las siguientes características:

Sistema batimétrico de barrido de alta resolución, Datos de sonar de barrido lateral georreferenciados y simultáneos con la batimetría Multihaz, 240° grados del ángulo total de apertura del haz en un barrido, Sistema de posicionamiento GPS con corrección diferencial, periféricos de alta precisión (SVS, SVP, MRU) (Figura 12).



Figura 12. Ecosonda Multihaz Geoswath Plus Compact

Fuente: Elaboración Propia

### 5. RESULTADOS

Como resultado del levantamiento hidrográfico con tecnología Multihaz, del canal de acceso al puerto de Barranquilla sobre el río Magdalena, en los 22 km del corredor levantado se pueden observar profundidades mínimas de entre 3 y 5 metros, particularmente en el sector de la isla Rondón, zona de influencia de la construcción del nuevo puente Pumarejo (Figura 13), es de anotar que en la fecha del levantamiento batimétrico, Abril de 2017 se encontraban en la excavación de los pilotes del nuevo puente, así mismo se evidenció una profunda erosión en la isla Rondón, lo

que permitió identificar una disminución de su tamaño que provocó la acumulación de sedimentos sobre el canal navegable (Figura 14).

Lo que provoca que el terreno tenga presión y sea inestable, aunque al momento que los niveles del agua sean altos, se convierten en muros de contención protegiendo el lecho del río, pero con cada movimiento puede generar una meteorización en las paredes del talud y llegar a desprenderse material que llega al fondo del río. (Fonnegra, 2019)

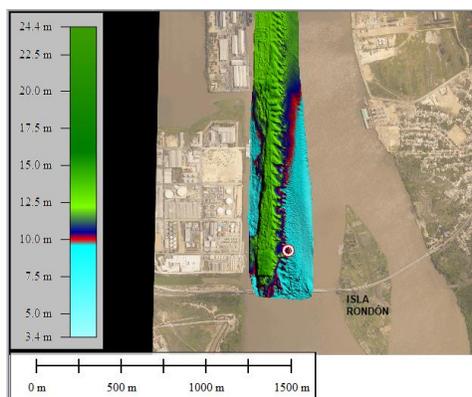


Figura 13. Levantamiento hidrográfico

Fuente: Elaboración Propia



Figura 14. Nuevo puente Pumarejo

Fuente: Google earth

Las profundidades encontradas entre las latitudes N10°57'00" Y N11°06'00" correspondientes a las zonas de aproximación de la desembocadura del río Magdalena, fueron las mayores profundidades encontradas con valores que oscilan entre 20 y 24 m, siendo óptimas para la navegación marítima y fluvial, teniendo como principal recomendación la actualización permanente de los levantamientos batimétricos, debido al gran volumen de sedimento que transporta el río Magdalena y que en ocasiones no fluye con las corrientes naturales del afluente, sino que se deposita en lugares en donde puede ocasionar disminución significativa de la profundidad segura para la navegación de grandes embarcaciones mercantes que ingresan al puerto de Barranquilla (Ortiz, 2020). La gran velocidad con que los sedimentos llegan y se acumulan en diferentes sitios del acceso del canal navegable en Bocas de Ceniza, producen altos costos de mantenimiento y cierres del canal navegable durante largas temporadas lo que conlleva a problemas de competitividad de la ciudad de Barranquilla con respecto a otros puertos nacionales. (Ortiz, 2020). Adicionalmente según (Restrepo & López, 2008), la desembocadura del río Magdalena presenta una ZMT concentración de sedimento suspendido >4500 mg l<sup>-1</sup> y sus posibles causas serían: convergencia de las capas estratificadas cercas al punto nodal, la supresión de la turbulencia ocasionada por la estratificación y alta concentración de sedimentos y posible ocurrencia de procesos de floculación. En consecuencia en el punto, conocido como Bocas de Ceniza, se evidenció una disminución de la profundidad del canal navegable en su costado occidental, con una profundidad mínima de 5 m (Figura 15).

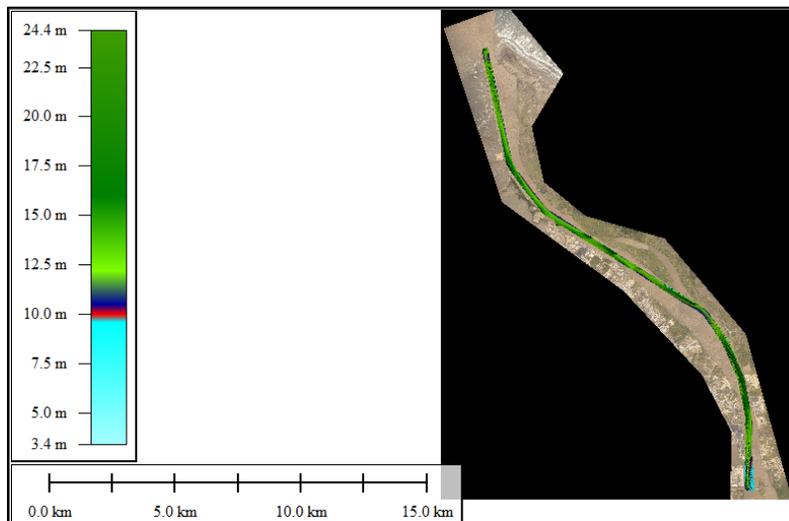
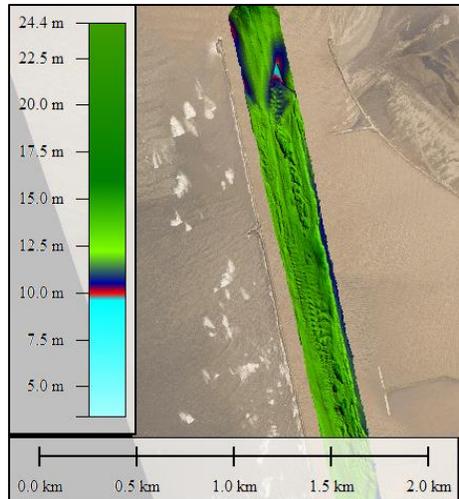


Figura 15. Bocas de Ceniza

Fuente: Elaboración Propia

## 5.1. HALLAZGO NAUFRAGIO

Como resultado de los beneficios del levantamiento hidrográfico con ecosonda Multihaz se encontró en el procesamiento de la información la presencia de un obstáculo mayor en proximidades al Puente Laureano Gómez de la ciudad de Barranquilla, se trata de una embarcación al parecer de tipo remolcador localizado en Latitud:  $10^{\circ} 57' 04.54''$  N - Longitud:  $74^{\circ} 45' 21.15''$  W a una profundidad: Mínima: 5.50 m. y Máxima: 10.40 m.

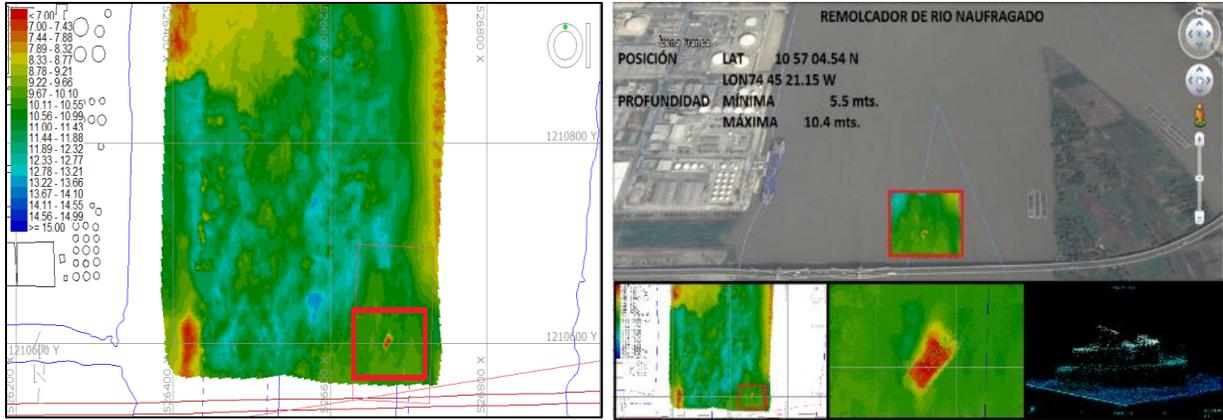


Figura 16. Localización Obstáculo (Sector Puente Laureano Gómez)

Fuente: Elaboración Propia

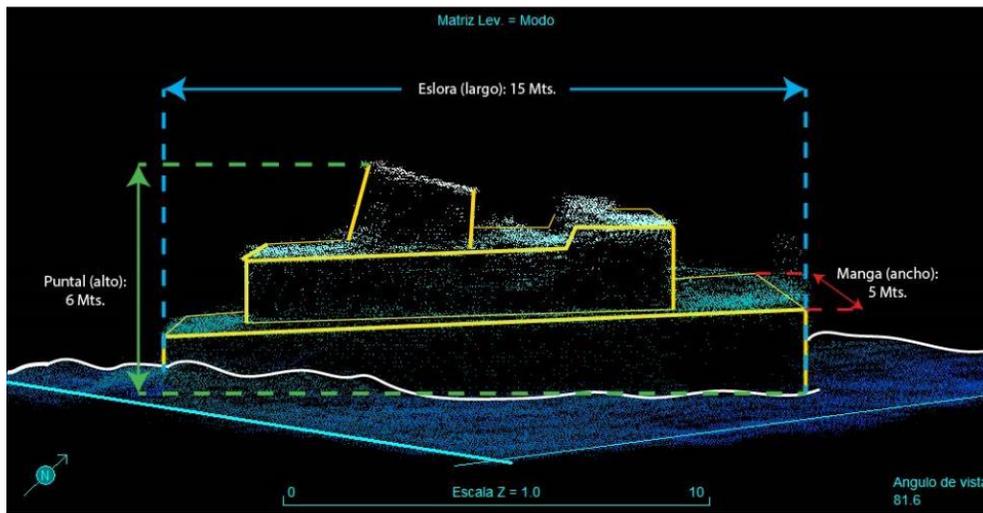


Figura 17. Magnitud del Obstáculo (Sector Puente Laureano Gómez)

Fuente: Elaboración Propia

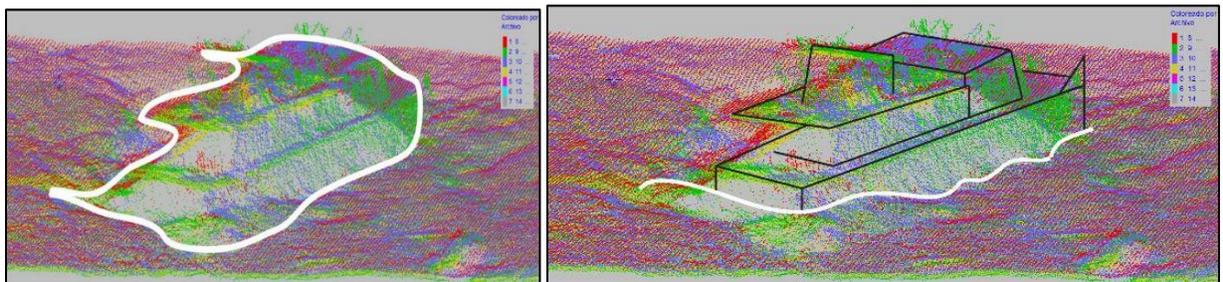


Figura 18. Identificación del Obstáculo (Sector Puente Laureano Gómez)

Fuente: Elaboración Propia

## 6. DISCUSIÓN

La dinámica fluvial y los cambios geomorfológicos en la desembocadura del río Magdalena desde 1920 hasta la actualidad, han contribuido al cambio constante del cauce, al punto de llegar a consolidarse en el punto en donde actualmente se encuentra, las maniobras y actividades desarrolladas en los últimos años como el encauzamiento del cauce a través de estructuras artificiales como tajamares han contribuido a establecer una localización consolidada, del canal navegable, esto con el fin de favorecer y afianzar una navegación marítima y fluvial segura. (Avendaño, 2013).

El río Magdalena se encuentra entre los 10 ríos que más transporta sedimentos a nivel mundial, gran parte de estos sedimentos se concentraran en mayor proporción en sectores intermedios del río como lo son la depresión Monposina, el paso por Pinillos, entre otros, para este caso en la zona de estudio en el canal navegable de acceso al puerto de Barranquilla se concentran dos sitios claramente establecidos como críticos por la alta densidad de sedimentación que concentran, estos sitios que son el costado noroccidental del canal navegable en bocas de ceniza y la ubicación del Puente Pumarejo. (Avendaño, 2013).

La composición principal de los sedimentos que se encuentran en la desembocadura del río Magdalena son partículas de un diámetro promedio de 225  $\mu\text{m}$ , clasificadas como arenas, y cuya acumulación es la causante de generar obstáculos para la navegación. (Avendaño, 2013)

La interacción de sedimentos, agua salada y no salada y la mezcla generada por la turbulencia de la desembocadura del río Magdalena en el mar Caribe, podrían tener como consecuencia la constante acumulación de sedimentos en el lecho del río, en la actualidad es evidente que la intervención humana en el trazado del río Magdalena ha disminuido, con excepción de la deforestación cuyas consecuencias se aprecian en el Alto y medio Magdalena. (Restrepo, 2014).

La concentración de sedimentos en suspensión encontrada en bocas de ceniza desembocadura del Río Magdalena es significativamente alta y una de las mayores en comparación con otros ríos del mundo, razón por la cual la desembocadura del Río Magdalena se clasifica como zona de máxima turbidez. (Restrepo, 2014).

En la figura 16, se evidencia el modelo del terreno y se observó el cambio en la profundidad; se deberá hacer un estudio más detallado para reconocer las fronteras de sedimentos que resulta compleja y requiere de levantamientos batimétricos periódicos (Chavez, 2006), para establecer el movimiento o el depósito de sedimentos a lo largo del canal navegable.

Los levantamientos Monohaz que acostumbran a hacer sobre el canal navegable del río Magdalena resultan insuficientes para establecer un modelo digital del terreno ajustado a la realidad, sin interpolaciones, se propone implementar la metodología Multihaz en los levantamientos batimétricos que requieran resoluciones detalladas.

Pese a que es una metodología, que necesita equipos costosos y en ocasiones las consultorías prefieren irse por otros métodos más económicos a largo plazo se ven los beneficios, porque además de permitir monitorear constantemente las condiciones del río (profundidad, nivel, los cambios de origen natural y causados por el hombre, etc.) la ventaja es que es posible comparar, analizar y estudiar fenómenos que ocurren en el río con el fin de lograr una administración eficiente en términos económicos y sociales así: Análisis de socavación y sedimentación con el fin de implementar nuevas técnicas de mantenimiento del canal navegable, el efecto de las temporadas de lluvias y sequías en la cuenca alta, media y baja del Río Magdalena observando diariamente el comportamiento de los niveles, y los efectos en el sector de bocas de ceniza de la marea oceánica.

## 7. CONCLUSIONES

- Luego del levantamiento hidrográfico realizado, el postproceso de los datos obtenidos y la representación espacial de la información del lecho del río, sobre el canal de acceso al puerto de Barranquilla en el río Magdalena utilizando una ecosonda Multihaz, se evidencia que es la metodología idónea para obtener un modelo digital del fondo de un cuerpo de agua debido a que permite una visualización exacta de los accidentes topográficos y obstáculos presentes, además de lograr precisiones con los más altos estándares internacionales.
- Un elemento significativo y a tener en cuenta en este tipo de levantamientos con sistemas de ecosondas Multihaz, es el traslape que se deben tener sobre las líneas de levantamiento, ya que en el postproceso se logró identificar que los haces acústicos más externos pueden producir sondeos no muy precisos, este inconveniente se reduce al realizar el levantamiento con un ángulo del haz más cerrado y con un traslape de mínimo un 20%, logrando así una representación confiable y verídica del fondo.
- Para finalizar se concluye que el estudio de la hidrografía cuyas metodologías son tal vez un poco desconocidas en el ámbito del estudio de las ciencias de representación espacial, también nos pueden ofrecer tecnologías adaptadas para la investigación de fenómenos sobre los distintos cuerpos de agua, en especial el levantamiento hidrográfico con ecosondas Multihaz.
- La influencia que pueda llegar a tener la nueva disposición y ubicación de elementos estructurales empleados en la cimentación y apoyos de la superestructura del nuevo puente Pumarejo, da a lugar a un estudio hidráulico profundo, para establecer afectaciones en la

dinámica fluvial del río Magdalena y su interferencia en la erosión que se evidencia sobre la isla Rondón y las orillas del margen occidental del río Magdalena.

- De manera concluyente se considera que se debe realizar un estudio hidráulico sobre la influencia que puedan tener las mareas oceánicas en la acumulación de sedimentos en un punto crucial del canal navegable como es el acceso desde el mar Caribe al río Magdalena.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Avendaño, P. (2013, Junio). *MODELACIÓN HIDRÁULICA Y MORFOLÓGICA DE BOCAS DE CENIZA*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/19620/u671005.pdf?sequence=1>
- Balletero, L. (2010, Junio). [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10663/MEM%C3%93RIA\\_PFC\\_DANI-LAURA.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10663/MEM%C3%93RIA_PFC_DANI-LAURA.pdf).
- Blanton. (1982). *Procedimientos para monitorear la sedimentación del yacimiento*. Denver.
- Brown, J., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., & Wright, J. (1993). Sediment erosion, in Bearman, G. (ed.). 81-83.
- Cárdenas, J. A. (2015). *Especialista en Productos Hidrográficos*. Canadá: Kongsberg Maritime .
- Carvalho. (1999). *Efectos de la sedimentación del yacimiento en la generación de energía hidroeléctrica*. Graz, Austria: congreso de la IAHR.
- Chavez, S. (2006). Sediment erosion", in Bearman, G. (ed.), *Waves, Tides and Shallow-Water Processes*.
- Eakin, H. (1939). *Sedimentación de embalses. Boletín técnico no 524. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos*. Washington EE. UU: Oficina de Imprenta del Gobierno de EE. UU.
- Fonnegra, A. (2019). Mitigación de procesos erosivos en cuerpos fluviales estudio de caso Río Guaviare corregimiento Amanaven Vichada acompañamiento y recolección de la información.
- Gonzalez, R. (2013). *Las vías fluviales, infraestructuras y puertos: la industria del contenedor, sus aportes al transporte multimodal, visión en Colombia*. Colombia.
- ICOLD. (1989). *Control de sedimentación de embalses / Maîtrise de l'alluvionnement des retenues*. ICOLD . París: Boletín 67 de la Comisión Internacional de Grandes Presas.
- Lee PS, Y. J. (2011). *El análisis de riesgo del impacto a largo plazo en el embalse bajo eventos hidrológicos extremos: el embalse de Shihmen*. Congreso Mundial de Recursos Hídricos 2011.
- Moreno, J. M. (2008). *CIOH*. Obtenido de CIOH: <https://www.cioh.org.co/index.php/es/?id=372:uso-de-tecnologmultihaz-en-los-canales-de-acceso-de-los-puertos-colombianos&catid=28>
- Morris GL, F. J. (1998). *Manual de sedimentación de yacimientos*. Nueva York: McGraw-Hill Book Co.
- OHI. (2011). *Manual de hidrografía*. Monaco: OHI-Organización Hidrográfica Internacional.

- Ortiz, K. (2020, Mayo). Obtenido de <https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/9060/140441.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Restrepo, C. (2014, Octubre). *Dinámica Sedimentaria en Deltas Micromareales – Estratificados*. Obtenido de <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/7422/dinamica.pdf?sequence=1>
- Restrepo, J., & López, S. (2008). Morphodynamics of the Pacific and Caribbean deltas of Colombia, South America.
- Spalletti, P. (2018). *Instituto Nacional del Agua República Argentina*. Obtenido de [https://www.ina.gob.ar/delta/pdf/03\\_04\\_INA-DELTA\\_Info04\\_Campanas-Topobatimetricas.pdf](https://www.ina.gob.ar/delta/pdf/03_04_INA-DELTA_Info04_Campanas-Topobatimetricas.pdf).
- Vanoni. (1977). *Ingeniería de sedimentación*. Nueva York: ASCE-American Society of Civil Engineers.
- Xiaoqing. (2003). *Manual sobre gestión y medición de sedimentos*. . Ginebra, Suiza: OMM-Organización Meteorológica Mundial: Informe de hidrología operacional N° 47.
- Yang. (2006). *Manual de erosión y sedimentación*. Denver - Colorado, EE. UU.: Departamento del Interior de EE. UU., Oficina de Recuperación.