

## **Aproximación a una metodología para la generación de productos de *backscatter* con la infraestructura tecnológica del Servicio Hidrográfico Nacional (SHN- CIOH)**

### ***Approach to a methodology for the generation backscatter products with the technological infrastructure of the National Hydrographic Service - (SHN-CIOH)***

DOI: 10.26640/22159045.427

Fecha de recepción: 2016-05-30 / Fecha de aceptación: 2016-08-22

**Julio Monroy Silvera\***, **Carlos Alvarado\*\*** y **Gustavo Gutiérrez Leones\*\*\***

**Monroy Silvera J., Alvarado, C. y Gutiérrez Leones, G. (2016).** *Aproximación a una metodología para la generación de productos de backscatter con la infraestructura tecnológica del Servicio Hidrográfico Nacional (SHN-CIOH)*. Bol. Cient. CIOH (34):65-76. ISSN 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI: 10.26640/22159045.427

#### **RESUMEN**

El conocimiento completo y detallado de las propiedades del fondo marino en la actualidad, es fundamental para el manejo, monitoreo, aprovechamiento y educación de los espacios marinos nacionales. El desarrollo tecnológico en la exploración submarina ha girado alrededor de las ecosondas, sistemas que entregan además de la información de batimetría, la información de retrodispersión acústica o *backscatter*. La apropiada medición y análisis de información de *backscatter* de las actuales ecosondas multihaz es útil para determinar características del fondo marino e identificar procesos sedimentarios. Se realizó una observación de varios factores que influyen en la medición de la intensidad de *backscattering*, finalmente con el objeto de llegar a desarrollar una metodología efectiva para la adquisición y análisis de esta información, llevándola a un escenario práctico con las capacidades actuales del Servicio Hidrográfico Nacional (SHN-CIOH).

**PALABRAS CLAVES:** sonido, retrodispersión, ecosonda, multihaz, hidrografía, sonar, hidroacústica, ruido.

#### **ABSTRACT**

*The complete and detailed knowledge of the sea bottom properties in the present time is fundamental for handling, monitoring, profiteering and education of the national marine spaces. The technological development in sea bottom exploration has circled around echo sounders, systems that deliver not only bathymetry information but acoustic backscatter information. The proper measurement and analysis of backscatter information from the current multibeam echo sounders is useful for determining sea floor characteristics and sedimentary processes. Observation of various factors that influence the measurement of backscatter intensity was made, for finally obtaining an effective methodology for the acquisition and analysis of this information, taking it into a real scenario with the actual capacities of the National Hydrographic Service (SHN-CIOH).*

**KEYWORDS:** Sound, backscatter, echo sounder, multibeam, hydrography, sonar, hydroacoustics, noise.

\* Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Cartagena de Indias. Correo: julio.monroy@armada.mil.co

\*\* Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Correo: carlos.alvarado.ca@armada.mil.co

\*\*\* Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Cartagena de Indias. Correo: gustavo.gutierrez@armada.mil.co

## INTRODUCCIÓN

Siguiendo el desarrollo tecnológico que se ha dado en las últimas décadas en los métodos de la exploración marina, se encuentran principalmente las ecosondas, que fueron inventadas a principios del siglo XX, y cuyo desarrollo ha sido impulsado en buena parte por las aplicaciones militares. Desde entonces, se han construido y perfeccionado numerosos tipos de ecosondas que permiten estudiar los fondos marinos con diferentes niveles de detalle (OHI, 2005).

Además de entregar datos de profundidades georeferenciadas, los sistemas multihaz proveen de datos de retrodispersión acústica, más conocida por su nombre en inglés *backscatter*. Si estos datos son apropiadamente reducidos, proveen una medida de la fuerza de *backscatter* como una función del ángulo de elevación (del rayo o haz acústico) o respuesta angular (Lark *et al.*, 2015)

Una aplicación práctica del análisis de *backscatter* es la identificación de fondos marinos. Tradicionalmente, la conformación superficial del fondo marino se determina por la recolección de una serie de muestras, analizándolas para determinar tamaño del grano o tipo de roca, y luego graficando en un mapa los resultados, interpolando o extrapolando las brechas entre las muestras (Dartnell y Gardner, 2004). En los últimos años, la integración de batimetría e información de retrodispersión ha

conducido a una revolución en el entendimiento de las características del fondo marino y los procesos sedimentarios (Medialdea *et al.*, 2008).

El análisis detallado de las señales de *backscattering* de los sistemas de multihaz es el tema principal de las actuales investigaciones y actividades de desarrollo a nivel internacional. Estos estudios están encaminados a obtener mayor información acerca de las propiedades del fondo marino y de los hábitats bentónicos a partir de la información acústica (Parnum, Siwabessy y Gavrillov, 2004).

Actualmente, la Dirección General Marítima, a través del servicio hidrográfico nacional (CIOH Caribe) cuenta con las plataformas oceanográficas ARC Malpelo y ARC Providencia (Figura 1), buques de investigación científica que poseen sistemas multihaz de última tecnología, actualizados recientemente en búsqueda de los más altos estándares internacionales en cuanto a capacidad y calidad de recolección de información del fondo marino. Sin embargo, a pesar de las mejores capacidades adquiridas, no se posee una metodología efectiva de adquisición y análisis de datos de *backscattering*, lo que impide que se optimice el empleo de los equipos y que se obtenga información que pueda ser explotada más eficientemente con miras a conocer mejor los espacios marítimos jurisdiccionales; y es precisamente este, el problema de investigación que se plantea y desarrolla en la presente investigación.



**Figura 1.** Buques oceanográficos ARC Malpelo (der.) y ARC Providencia (izq.), modernizados recientemente en su tecnología de equipos de hidrografía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la metodología se realizó un estudio previo del estado del arte en la materia, donde fueron indagadas más de 40 fuentes bibliográficas en las que se propusieron diversos métodos para la obtención, análisis y validación de datos de *backscatter*. En su mayoría, los métodos revisados confluyen en la relación de diferentes rangos de intensidades de retrodispersión con la clasificación de sedimentos propuesta por Folk, Andrews y Lewis (1970).

Se realizó el inventario de equipos y capacidades multihaz con que cuenta el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, como servicio hidrográfico nacional, y se estableció que se cumplen con altos estándares en cuanto a la actualización de la tecnología de sus equipos.

Fueron llevadas a cabo dos jornadas de trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico ARC Malpelo. En la primera se observaron las variables ambientales y de la plataforma que afectan el desempeño de la ecosonda multihaz; principalmente se comprobaron los niveles de ruido al someter la unidad a diferentes tipos de rumbo, velocidad e incidencia del oleaje; esto teniendo en cuenta la configuración física del buque y de su sistema multihaz. En la segunda jornada, se realizó un registro detallado de las condiciones de operación de la ecosonda multihaz Kongsberg EM 302 durante una campaña real, verificando las intensidades de *backscatter* (oblicuo y normal) y observando su comportamiento de acuerdo con los factores ambientales y dinámicos de la embarcación. Se intentó establecer algún tipo de correlación entre los movimientos axiales de la embarcación con la intensidad de *backscatter*, la cual es una variable altamente dependiente del ángulo de incidencia y por ende de los movimientos que tenga el sensor. Sin embargo, se logró observar que no todos los movimientos están directamente relacionados con la intensidad de retrodispersión.

Se llevó a cabo una recopilación bibliográfica de algunas prácticas a tener en cuenta durante el planeamiento y la recolección de datos de *backscatter*, con la experiencia de expertos en la materia, confrontadas con los datos recopilados en las campañas a bordo del ARC Malpelo. Así mismo, se verificaron diversos métodos de

procesamiento existentes para trabajar con datos de señal de retrodispersión de los sistemas multihaz. Esta referencia en conjunto con las capacidades informáticas y tecnológicas del CIOH – Servicio Hidrográfico, fue fundamental para la determinación de la mejor herramienta que se utilizará en la obtención de un análisis de la señal acústica.

Por último, se efectuó la aplicación práctica de la metodología propuesta en un área previamente levantada cumpliendo con los estándares requeridos para el procesamiento de *backscatter*. El procesamiento se llevó a cabo en el software CARIS HIPS and SIPS, empleando sus capacidades para el procesamiento de este tipo de datos. Luego de incorporar los datos de *backscatter* al *software* y separarlos de la batimetría, se generó un mosaico donde se aprecia una vista previa de los datos. A partir de este mosaico se generó una nueva superficie en la cual se aplicó una generalización de los datos con el fin de suavizar la dispersión de los datos gráficos y por último una identificación de colores por rangos de intensidad, donde se aislaron de forma más definida, los tipos de fondo que corresponden a la clasificación hecha por Carreño *et al.*, (2011).

## RESULTADOS

El CIOH-Caribe cuenta con diferentes tipos de sistemas de ecosonda multihaz (MBES – Multibeam Echosounder Systems, que son los utilizados regularmente para los levantamientos batimétricos dentro de las campañas para la permanente actualización de la cartografía náutica del país. Los sistemas son los siguientes, con su respectiva plataforma y características (Tabla 1).

Las ecosondas de los buques *ARC Malpelo* y *ARC Providencia* fueron instaladas en un montaje tipo “góndola” en el cual una estructura en forma parecida a un ala *delta* sobresale por debajo del casco aproximadamente un metro, alejando los sensores de la estructura del buque con el fin de minimizar la interferencia por los ruidos generados por la hélice de proa, ánodos de sacrificio, cordones de soldadura, sensores, bulbo y demás aditamentos que afectan el comportamiento del agua en las inmediaciones del casco durante el desplazamiento del buque (Figura 2).

**Tabla 1.** Plataformas y sistemas multihaz instalados a bordo de las plataformas de Dimar.

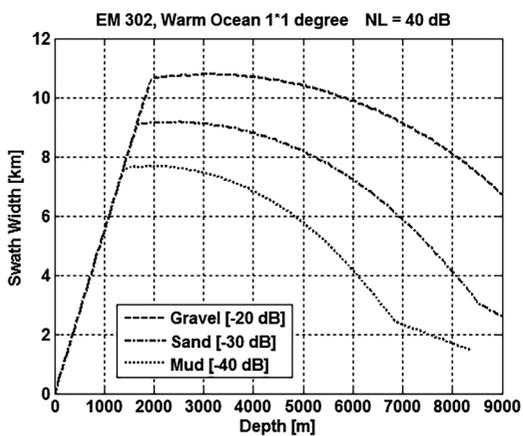
Plataforma	ECOSONDA						
	Marca	Modelo	Versión	Frecuencia de operación	Cant. de haces	Máximo ángulo de cobertura	Rango de profundidad (m)
ARC Malpelo ARC Providencia	Kongsberg	EM 302	1 x 2 1 x 1	30 kHz	288	140°	10 - 7000
ARC Isla Fuerte	Reson	Seabat 7125	1 x 0,5 2 x 1	400 kHz 200 kHz	512 256	128°	0,5 - 500



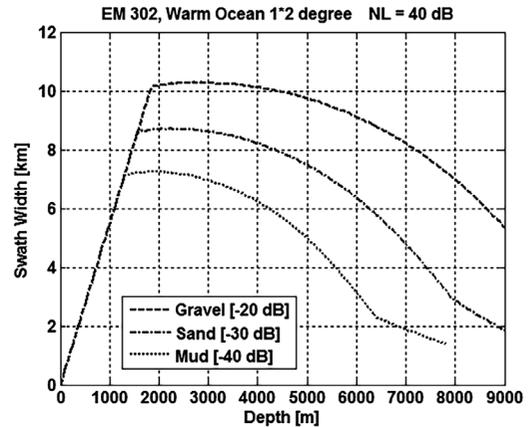
**Figura 2.** Góndola del arreglo de sensores de los sistemas multihaz en la parte inferior del casco de los buques ARC Malpelo y ARC Providencia

Los MBES de los dos buques se diferencian solo en su arreglo angular en el sensor de recepción. Mientras en el ARC Providencia, el receptor tiene un ángulo de 1° respecto a la horizontal, en el ARC

Malpelo posee 2°. Esto influye en el ancho de barrido de los haces en la recepción, siendo el arreglo angular de recepción del ARC Providencia, más efectivo por cuanto la recepción es mejor (Figura 3).



a.



b.

**Figura 3.** Desempeño de los diferentes arreglos de las ecosondas Kongsberg EM 302 en los buques oceanográficos del CIOH-Caribe: a) ARC Providencia b) ARC Malpelo. (Fuente: Kongsberg Maritime AS).

La ecosonda RESON Seabat 7125 a bordo del bote tipo pilot ARC Isla Fuerte, está instalada

en un montaje rebatible, en la proa de la embarcación (Figura 4).



**Figura 4.** MBES a bordo del bote ARC Isla Fuerte. El arreglo (derecha) se despliega hacia proa y queda sumergido en el agua cuando se inicia la operación del sistema.

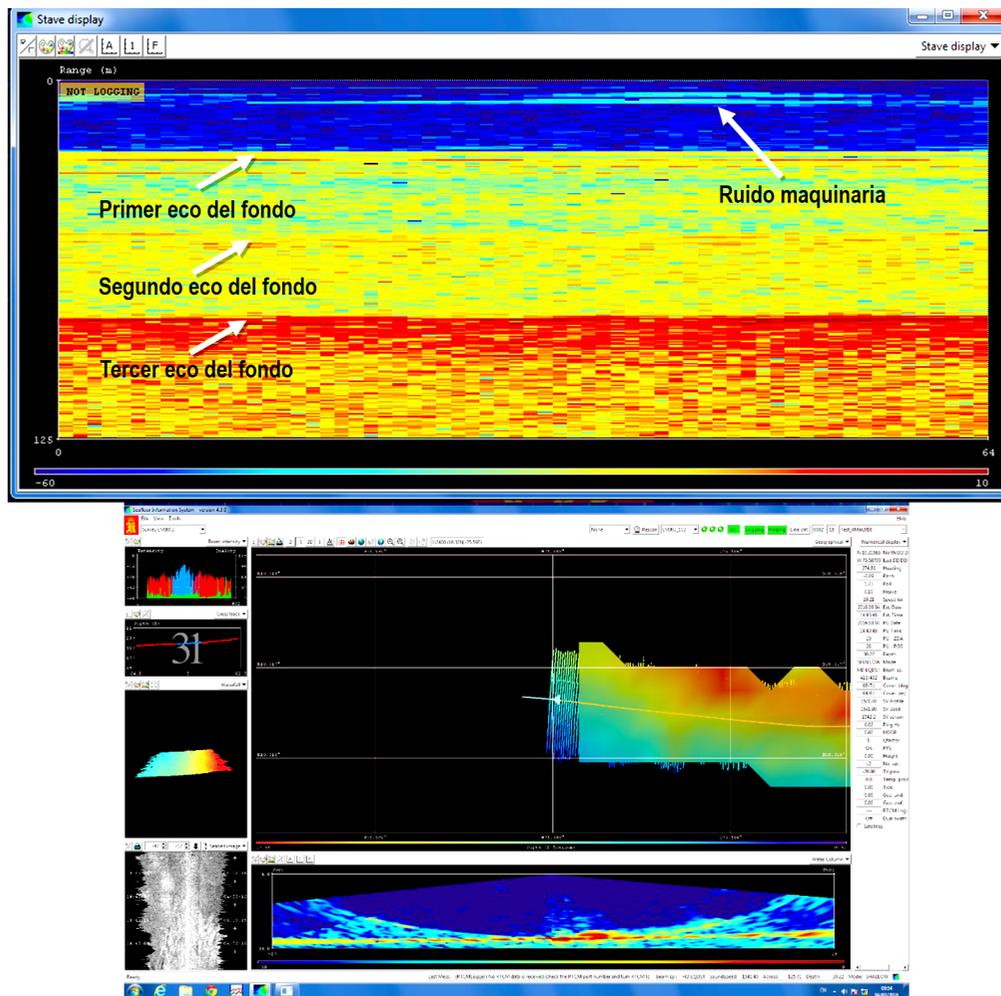
En la primera campaña realizada a bordo del ARC Malpelo, el objetivo fue llegar hasta una profundidad de más de 2000 m de profundidad, con el fin de verificar el trabajo de la ecosonda en condiciones de operación óptimas. Se comenzó a registrar la información desde el último tramo del canal de salida de la bahía de Cartagena y hasta el retorno a la misma al final del día. Al alcanzar la profundidad requerida para realizar las pruebas de cobertura de los haces, se realizaron cambios de rumbo y velocidad, corriendo las pruebas del sistema donde quedaron evidenciados los diferentes niveles de ruido, dependientes de la interacción buque-ambiente.

Durante estas pruebas, las condiciones del mar fueron de 2 a 3 en la escala *Beaufort*, teniendo una altura de la ola entre 1 y 1.5 m, aproximadamente, suficiente para notar afectaciones en ciertos rumbos y velocidades, en lo que se refiere a la generación de ruido en la vecindad de los sensores.

Para poder determinar el nivel de recepción del MBES, el software SIS (*Seafloor Information System*) genera una ventana de visualización llamada *stave display*, la cual muestra

gráficamente los niveles de ecos en todos los elementos de recepción o "duelas", para fines de verificación de rendimiento. En el caso de la ecosonda *EM 302*, el número de elementos o *staves* en los que se divide el receptor es 64. El rango de los ecos para el receptor va desde los -64 dB hasta los 10 db, donde ya se genera saturación del *stave*.

La Figura 5 muestra la ventana del *stave display* para el momento en que el buque se encuentra navegando en la bahía de Cartagena con rumbo de salida, una profundidad de 31 m y una velocidad de 10.2 nudos. Los colores más azules representan la ausencia de ecos, lo que normalmente se obtiene en la columna de agua. Se pueden observar unos mínimos ecos a unos metros del casco, los cuales se suponen son generados por la maquinaria del buque dada la velocidad a la que se encontraba navegando en ese momento; pero sin afectar significativamente el rendimiento del sistema. Esta ventana de *stave display* en condiciones relativamente buenas de operación (al interior de la bahía), fue tomada como referencia para las siguientes observaciones de desempeño en aguas abiertas.



**Figura 5.** *Stave display* durante el tránsito de salida de la bahía de Cartagena del ARC Malpelo.

Fueron observados los ecos para diferentes combinaciones de rumbo, velocidad e incidencia del oleaje, obteniendo diferentes respuestas del sistema para cada caso:

*Profundidad de 410 m, velocidad 9.4 knt y rumbo 269T:* se observó la columna de agua sin alteraciones o ecos en los staves, y a partir de la detección del fondo un funcionamiento normal. En el momento de la captura de la ventana, la unidad navegaba durante las primeras horas de la mañana, cuando la altura de la ola era de aproximadamente 1 m.

*Profundidad de 837 m, velocidad 9.6 knt y rumbo 251T:* se observan ecos leves en la columna de agua, ya que se le indicó al puente que aumentara

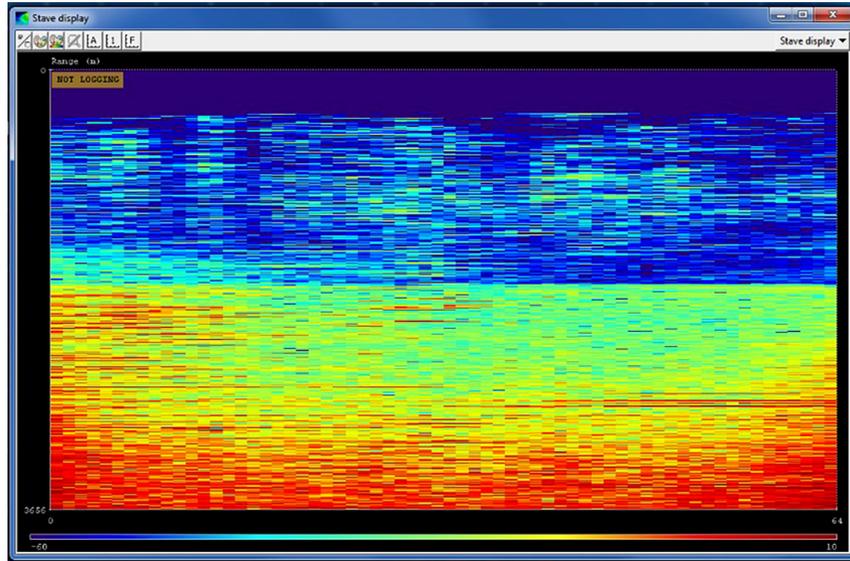
la potencia de la maquinaria al máximo posible. Sin embargo, la detección del fondo es mucho más consistente que antes por haber aumentado la profundidad y por estar el buque navegando en la misma dirección del oleaje.

*Profundidad de 2274 m, velocidad 6.6 knt y rumbo 270T:* se solicitó disminuir la velocidad del buque. En este momento la profundidad ya era la del área de pruebas (> 2.000 m) y se nota claramente que con esa velocidad y el rumbo 270°T (cercano a la dirección del oleaje) la columna de agua no es perturbada de forma importante.

*Profundidad de 1739 m, velocidad 8.1 knt y rumbo 088T:* se pidió aumentar la velocidad del buque hasta 8 nudos (velocidad de crucero).

Esta vez navegando con la ola casi por proa se observa claramente un nivel de ruido casi uniforme en toda la columna de agua en todos los *staves* y unos ecos del fondo más pobres que en la anterior prueba. Se puede deducir que los

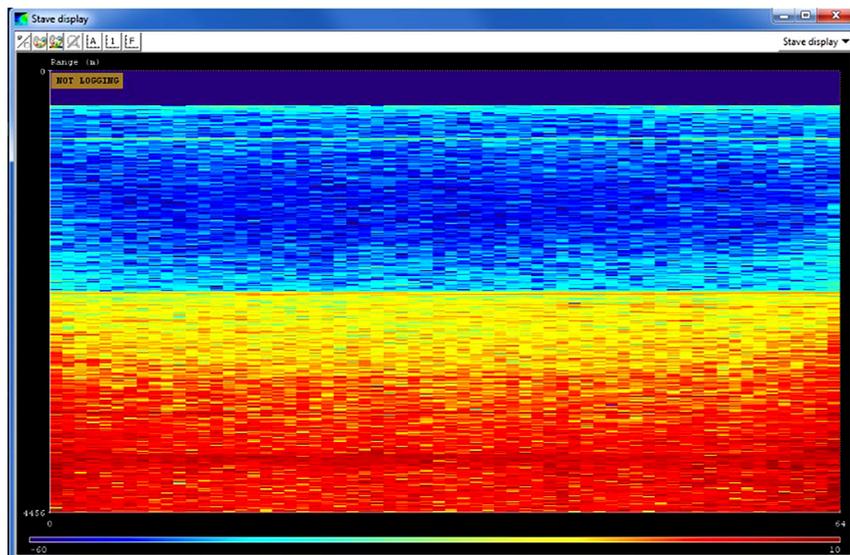
dos efectos sumados (aumento de potencia en la maquinaria e incidencia del oleaje) generan una respuesta más ruidosa en la columna de agua, afectando los datos del fondo (Figura 6).



**Figura 6.** *Stave display* durante la prueba en una profundidad de 1739 m, velocidad 8.1 knt y rumbo 088T.

*Profundidad de 2195 m, velocidad 7.0 knt y rumbo 262T:* se cambió nuevamente el rumbo a uno a favor del oleaje, manteniendo la misma potencia de la maquinaria,

comprobando que efectivamente aumentan los niveles de recepción del fondo en todos los *staves* y se reduce el ruido en la columna de agua (Figura 7).



**Figura 7.** *Stave display* durante la prueba en una profundidad de 2195 m, velocidad 7.0 knt y rumbo 262T.

Como resultado de las pruebas de desempeño a través de la función de *stave display*, se pudo determinar que los factores de ruidos ambientales ocasionados por la interacción buque – océano, se pueden mitigar conociendo el desempeño de la embarcación mediante este método y variando componentes como la velocidad y el rumbo.

Se realizó la segunda campaña a bordo del ARC Malpelo durante una operación de levantamiento batimétrico multihaz en las islas menores de Serrana y Roncador, en el archipiélago de San Andrés y Providencia. Se recopilaron datos horarios ambientales, de la plataforma y de intensidad oblicua y normal de *backscatter* de la ecosonda *Kongsberg EM 302*, por un espacio de 96 horas. De esta serie de tiempo, se analizaron los datos de movimientos axiales del sensor (*roll*, *pitch* y *heave*) y las intensidades de *backscatter* oblicuo (OB) y normal (NIB).

Los movimientos de balanceo, cabeceo y elevación (*roll*, *pitch* y *heave*) son comúnmente utilizados por los MBES para realizar las correcciones en cada uno de los ejes, calculando otros movimientos como la guiñada (*yaw*) y el desvío (*sway*). El parámetro NIB (Normal Incidence *Backscatter*), muestra el nivel de retrodispersión en incidencia normal. El nivel de ecosonda recibido desde el primer impacto (incidencia normal), depende en gran medida del tipo de fondo y la frecuencia. El parámetro OB (*Oblique Backscatter*) muestra la fuerza de la retrodispersión oblicua. Es un promedio del nivel de retrodispersión medio para los haces colocados por fuera de la región de incidencia normal y dentro de 60° de la vertical (Kongsberg, 2013).

Así, analizando las observaciones del OB y NIB se pudo observar que la intensidad del primero no presenta ninguna tendencia considerable, a diferencia del NIB. Esto podría deberse a que el sistema *Seabed Information System* (SIS), el cual procesa los datos de la ecosonda, realiza un promedio de intensidad de los haces hasta los 60° (OB) respecto al nadir; en este sentido las variaciones de los haces más lejanos son suavizadas un poco, lo cual el SIS utiliza para las correcciones de ganancia de variación temporal (Time Varying Gain - TVG), relacionados con los haces fuera de la zona de incidencia normal. Sin embargo, la incidencia normal del *backscatter* sí tiene una

tendencia, por lo que se puede suponer que existe algún factor que lo podría estar afectando.

Se calcularon los coeficientes de correlación, comparando los movimientos axiales contra las intensidades de *backscatter* acústico tanto oblicuo como normal, encontrando los resultados que se muestran en la Tabla 2.

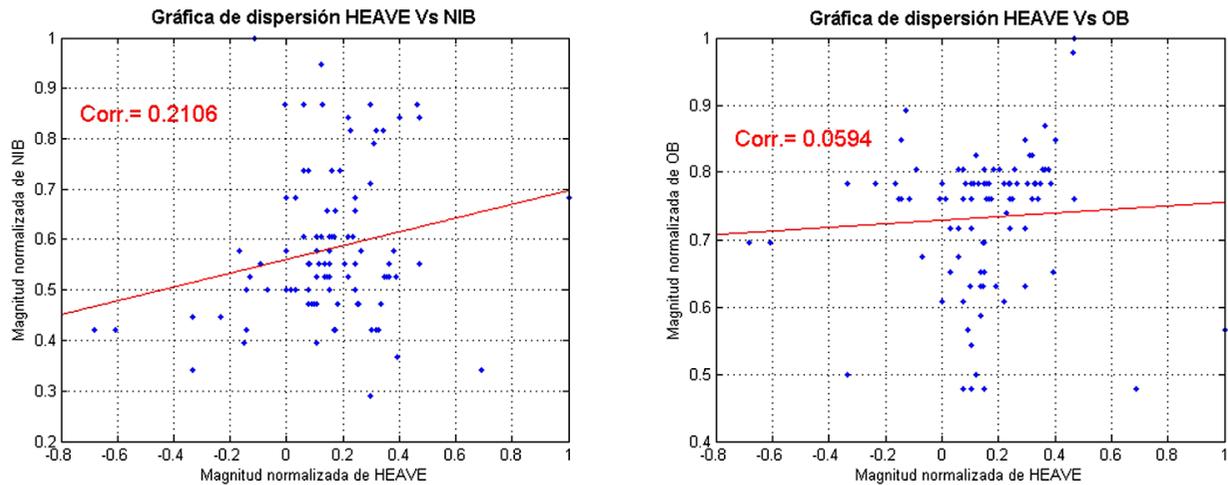
**Tabla 2.** Correlaciones de los movimientos axiales de la plataforma con las intensidades de *backscatter*.

Correlaciones lineales			
	Balanceo	Cabeceo	Elevación
NIB	-0.1628	0.0143	-0.2106
OB	-0.1360	-0.0614	-0.0593

Se calcularon correlaciones de Pearson para *pitch* y *roll* contra NIB y OB; sin embargo, respecto al movimiento de elevación, pese a no estar aparentemente relacionado con las intensidades de OB, sí se puede observar una *r* de Pearson del orden de 0.21 con la intensidad NIB (Figura 8).

Para la muestra (96 horas), la correlación de la elevación y el NIB tiene un nivel de significancia del 95 %, calculado para *n*-2 grados de libertad; lo que podría indicar que la distancia entre el fondo y el sensor, al aumentar o reducirse con la altura de la ola, afecta a los haces inmediatamente debajo de la plataforma. El cálculo del error estándar para la correlación de estos dos factores se encuentra en el orden de 0.29. A pesar de que no es fuertemente concluyente dada la escases de los datos, se podría suponer que las afectaciones a la intensidad de *backscatter* con referencia a la incidencia angular, no solo se refiere a morfología del fondo y al *roll* de la embarcación, sino que también se podría sumar el desplazamiento en el eje del nadir (elevación).

Esta suposición deberá ser demostrada en mejor detalle con series de tiempo más prolongadas sobre el NIB y la elevación y con estados de mar más diversos que permitan observar variaciones más importantes de la altura del buque respecto a la horizontal, ya que para el período registrado fue de 96 horas, en las cuales el estado del mar se mantuvo en una magnitud de 1 en la escala de *Beaufort*.



**Figura 8.** Gráfica de la correlación de la elevación y los factores NIB y OB.

## DISCUSIÓN

De las pruebas de desempeño de los sistemas multihaz realizadas, se pudo comprobar que la retrodispersión acústica al ser muy dependiente de la incidencia angular, es afectada por los diferentes movimientos axiales de la plataforma. Se logró establecer una correlación entre esta dinámica y la intensidad de *backscattering*, encontrando la mayor correlación con el movimiento de elevación que es el desplazamiento de la plataforma solamente en el eje y.

Igualmente, las pruebas a bordo del ARC Malpelo sirvieron para determinar las mejores condiciones para minimizar los efectos negativos en las mediciones del sistema multihaz. Se realizaron comprobaciones con diferentes rumbos y velocidades, además de tomar la medida estándar del ruido generado cuando se navega en aguas calmas (bahía de Cartagena). Se concluye con estas pruebas que en un estado del mar moderado (2 a 4 en escala *Beaufort*), se debe disminuir la velocidad de la plataforma para reducir el impacto de la proa contra el oleaje. Del mismo modo, no se debe tomar el rumbo directamente en contra del oleaje. En los estados del mar más fuertes, es recomendado no realizar la campaña, cuando no se prevea el pronto mejoramiento de las condiciones océano-atmosféricas y el objetivo del levantamiento sea registrar datos de *backscatter*.

Con base en las observaciones del comportamiento del *backscatter* con relación a las condiciones de la plataforma y del medioambiente, se generaron diversas prácticas para ser tenidas en cuenta durante la etapa de levantamiento; procedimientos que se deben aplicar para obtener datos *backscatter* de la mejor calidad posible. Se concluyó que el servicio hidrográfico del CIOH Caribe, si requiere realizar campañas de levantamiento *backscatter*, debe tener en cuenta ciertos factores, además de aquellos relacionados con una campaña hidrográfica regular (Tabla 3).

Al igual que la fase de obtención de datos de campo, en la parte de procesamiento de datos se pudieron establecer los pasos a seguir para generar un producto *backscatter* de calidad, utilizando las capacidades informáticas actuales del servicio hidrográfico, las cuales, al igual que sucede con los equipos multihaz, corresponden a estándares aplicados por instituciones en todo el mundo. Así, utilizando la *suite* CARIS HIPS and SIPS, el CIOH Caribe, podría entrar a hacer parte del 40 % de usuarios de sistemas multihaz que utiliza este paquete de *software* para el análisis de datos de *backscatter*; siendo un buen referente ya que se evidencia el alto nivel de confianza que depositan instituciones alrededor del mundo en los resultados obtenidos con esta plataforma informática (Figura 1).

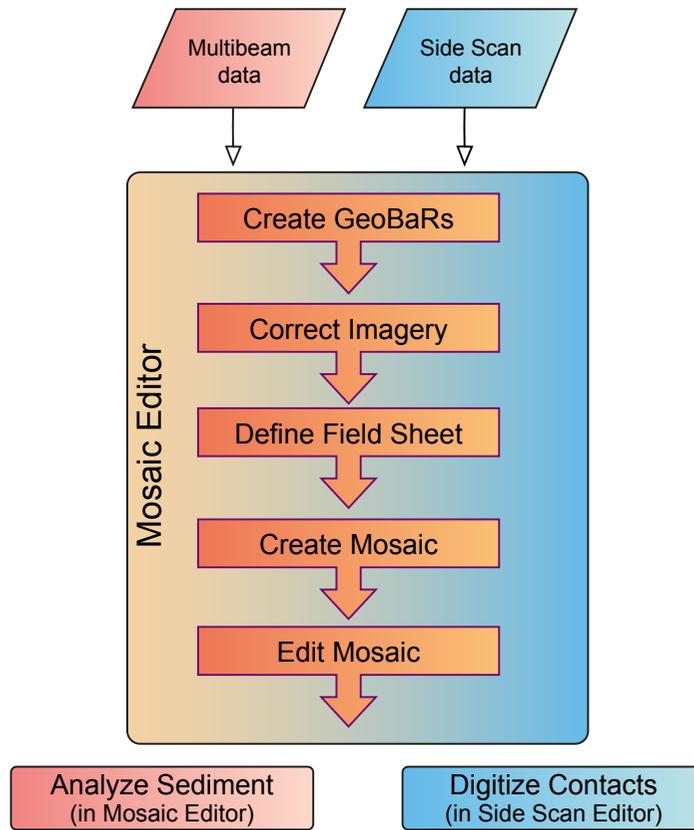
**Tabla 3.** Buenas prácticas para la obtención de datos de *backscatter*.

<b>Consideraciones previas</b>	<b>Calibraciones</b>	Calibración absoluta	Objeto con reflectividad conocida (esfera metálica) en el fondo.
		Calibración relativa	Para comparar diferentes sistemas acústicos, o diferentes configuraciones. Usando el fondo marino con características específicas.
	<b>Cambios de configuración en campaña</b>	Rango dinámico y saturación	Potencia, ganancia y longitud de pulso pueden ser variados, pero se deben calibrar antes de inicio operación.
		Frecuencia	No se recomienda modificar, ya que el <i>backscatter</i> es fuertemente dependiente.
		Consideraciones adicionales	Retrasos en la aplicación de nueva configuración.
<b>Técnicas para mejorar la calidad de BS</b>	<b>Factores ambientales</b>	Pérdida de energía BS	Minimizar interferencia con otras fuentes (embarcaciones o ecosondas).
	<b>Superposición</b>	Ángulo de incidencia	15° a 60° - ángulo para alta calidad de BS. Superposición debe ser mayor para asegurar as más alta calidad.
	<b>Rumbo</b>	Impacto en BS	Si existe batimetría compleja del área no debe ser navegada en una sola dirección.
	<b>Línea de dirección</b>	Insonificación	Evitar virajes rápidos o muy cerrados.
	<b>Cruce de líneas</b>	Consistencia de datos	Se pueden descubrir efectos anisotrópicos o variabilidad de fondo pero pueden ser excluidos del producto final.
	<b>Incrustaciones</b>	Afecta medición BS	Remover incrustaciones de sensores para asegurar medición óptima.

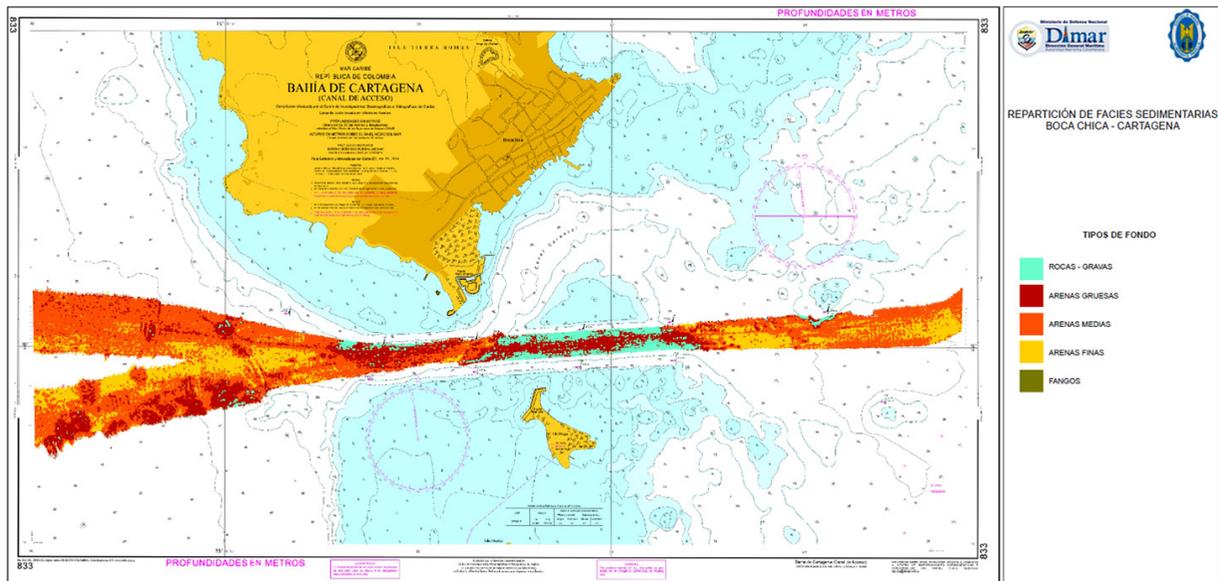
Al final del ejercicio se pudo aplicar toda la metodología en un levantamiento real, obteniendo una muy acertada identificación de fondos marinos en el sector de Bocachica en la bahía de Cartagena siendo este producto final de *backscattering*, la demostración del mejor aprovechamiento de las capacidades tecnológicas en materia de hidrografía (Figura 10).

En la Figura 10 se puede apreciar una combinación de las dos pasadas del buque ARC Malpelo durante la primera campaña, de entrada y salida por la zona de Bocachica. Con el *software* CARIS se realizó la rasterización del *backscatter* a

través de su editor de mosaico, efectuando luego una clasificación de los rangos de reflectividad del material del fondo marino de acuerdo con lo consultado en Carreño *et al.*, (2011). Como es un área de la cual se conocen sus características de fondo, se puede corroborar la presencia de arenas finas y medias por la gran influencia del Canal del Dique; además de estructuras rocosas en un sector de corte por dragados en cercanías al fuerte de San José. Igualmente, fuera de la bahía se observan estructuras pequeñas de gran reflectividad, las cuales representan a pequeñas formaciones de corales presentes en las proximidades de Bocachica.



**Figura 9.** Esquema básico del editor de mosaico del software CARIS. (Tomada de Teledyne Caris Inc).



**Figura 10.** Caracterización de fondos utilizando tecnología *backscatter*.

El producto final obtenido, constituye una buena aproximación a la identificación de fondos marinos hecha en el país basándose sólo en la recolección, procesamiento y análisis de toda la señal acústica de una ecosonda multihaz, aplicando una metodología innovadora en el país, contribuyendo así a la mejor comprensión de los espacios marítimos nacionales. Con base en lo anterior, se deja la puerta abierta para el uso de los datos de *backscatter* multihaz en el desarrollo de productos útiles, tanto para el conocimiento de los mares del país como para aplicaciones comerciales o de toma de decisiones por parte de las autoridades.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen por toda la disposición y colaboración para la realización de esta investigación, al personal del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, en especial al Capitán de Fragata Andrés Zambrano, Comandante del buque oceanográfico ARC Malpelo y a su tripulación por su invaluable apoyo durante las campañas hidrográficas; al Capitán de Corbeta Gustavo Gutiérrez, Jefe del Servicio Hidrográfico Nacional y director de la presente investigación, por su orientación oportuna y motivación permanente; y al Suboficial Segundo Juan Santana, tecnólogo en hidrografía del CIOH Caribe, por su disposición y puesta en práctica de conocimientos en el procesamiento de la información hidrográfica.

### REFERENCIAS

- Carreño, F., I. López, J. Payán, C. Arranz, E. Castellanos (2011). Aplicación de análisis textural a datos de retrodispersión de sonda multihaz para clasificación de fondos marinos. *Revista de teledetección* 36, 5-19.
- Dartnell, P. y Gardner, J. V. (2004). Predicting seafloor facies from multibeam bathymetry and backscatter data., 70, 1081-1091.
- Folk, R. L., Andrews, P. B., Lewis, D. W. (1970). Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 13:4, 937-968. doi: 10.1080/00288306.1970.10418211.

- Kongsberg (2013) EM Series Multibeam echo sounders – Datagram Formats, Revision R. Kongsberg Maritime, AS, October 2013. 136 pp.
- Medialdea, T., Somoza, L., León, R., Farrán, M., Ercilla, G., Maestro, A., . . . Alonso, B. (2008). Multibeam backscatter as a tool for sea-floor characterization and identification of oil spills in the Galicia Bank. *Marine Geology*, 249(1-2), 93-107. doi:10.1016/j.margeo.2007.09.007
- OHI. (2005). Publicación C-13: Manual de hidrografía. Monaco: Bureau Hidrografico Internacional. 47 pp.
- Parnum, I., Siwabessy, P., y Gavrilov, A. (2004). Identification of seafloor habitats in coastal shelf waters using a multibeam echosounder. *Proceedings of Acoustics*, 2004. 181-186.