

# IDENTIFICACIÓN DE LOS ARRECIFES CORALINOS DEL NOROESTE DE LA ISLA DE PROVIDENCIA MEDIANTE EL USO DE DATOS BATIMÉTRICOS

*Fecha de envío: 20/05/2024*

*Fecha de aceptación: 01/07/2024*

### **Harold Rojas Macías**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias  
y del Medio Ambiente, Santa Marta-  
Colombia  
<https://orcid.org/0009-0007-1339-8651>

### **Gabriel Ignacio Antolínez Gómez**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias  
y del Medio Ambiente, Santa Marta-  
Colombia  
<https://orcid.org/0009-0007-2583-8562>

### **Fanny Matilde Pinzón Candelario**

Universidad América de Europa-México,  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias  
y del Medio Ambiente, Santa Marta-  
Colombia  
<https://orcid.org/0000-0002-2082-2971>

**RESUMEN:** Reconociendo la importancia de los servicios ecosistémicos brindados por los corales en las zonas costeras, se manifiesta la necesidad de información que permita diseñar estrategias de muestreo, zonificación y delimitación de áreas marinas destinadas a su protección. De esta forma entender y predecir la distribución

espacial de los arrecifes y detectar cambios ambientales que los afecten (Costa et al., 2009). Con el fin de Identificar los arrecifes coralinos del noroeste de la Isla de Providencia a partir del uso de datos batimétricos, se estudian las geoformas del fondo marino en tres dimensiones y determinan las posibles áreas de interés, se genera un modelo digital del terreno con datos de retro dispersión en la zona levantada que exponga los valores de solidez del sustrato y se analiza el mapa cartográfico de las zonas coralinas, usando como base los resultados obtenidos de los modelos digitales e intensidades de retorno obtenidas. De manera exploratoria y descriptiva, se emplean herramientas para caracterizar el fondo marino, identificando las formaciones claves que definen el objeto de estudio. Se recolectaron datos durante dos días de campo, siguiendo el plan de 92 líneas de levantamiento o transectos a bordo de una lancha con ecosonda multihaz, se registran y procesan los datos. Finalmente, a partir de los mapas generados se logra la identificación de geoformas asociadas a arrecifes coralinos en menor tiempo, con menor esfuerzo y mayor precisión, frente a otras técnicas usadas hasta ahora.

**PALABRAS-CLAVE:** Corales, ecosonda, geoformas, sensores.

## IDENTIFICATION OF THE CORAL REEFS OF THE NORTHWEST OF PROVIDENCIA ISLAND THROUGH THE USE OF BATHYMETRIC DATA

**ABSTRACT:** Recognizing the importance of ecosystem services provided by corals in coastal areas, there is a need for information to design strategies for sampling, zoning and delimitation of marine areas for their protection. In this way, it is possible to understand and predict the spatial distribution of reefs and detect environmental changes that affect them (Costa et al., 2009). In order to identify the coral reefs of the northwest of Providencia Island. Based on the use of bathymetric data, the geoforms of the seabed are studied in three dimensions and determine the possible areas of interest, a model is generated of the terrain with backscatter data in the raised area that exposes the Solidity values of the substrate and the cartographic map of the coral zones is analyzed, based on the results obtained from the digital models and return intensities obtained. In an exploratory and descriptive manner, tools are used to characterize the seabed, identifying the key formations that define the object of study. Data were collected during two field days, following the 92-line plan survey or transects aboard a boat with multibeam echosounder, data are recorded and processed. Finally, from the maps generated, the identification of geoforms is achieved associated with coral reefs in less time, with less effort and greater precision, compared to other techniques used so far.

**KEYWORDS:** Corals, echosounder, geoforms, sensors.

### INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marinos y costeros son motores del desarrollo y los medios de vida de las comunidades de todo el mundo, ya que mantienen y preservan el equilibrio biodinámico de las cadenas alimentarias (Rojas y Caicedo, 2015; Portzet et al., 2015). et al., 2022).

Colombia tiene un estatus marítimo superior y domina los mares Pacífico y Caribe. La zona marítima ocupa alrededor del 50% de su territorio y cubre 13 de las 32 provincias del país. El territorio incluye una amplia gama de ecosistemas marinos y costeros, como manglares, arrecifes de coral, pastos marinos, etc., de los cuales dependen las actividades económicas esenciales del país (INVEMAR, 2020).

Los bienes y servicios que proporcionan estos ecosistemas son activos estratégicos muy importantes, que no sólo en Colombia sino a nivel mundial provocan migraciones humanas a gran escala hacia las zonas costeras, provocando conflictos ambientales, impactos en los ecosistemas y procesos de degradación y erosión de los ecosistemas.

Las áreas costeras son el resultado de las actividades portuarias, la pesca, el turismo, el cambio climático, la exploración de hidrocarburos, el crecimiento poblacional, la introducción de especies invasoras y el desarrollo urbano general a lo largo de esa costa (Guarderas et al., 2008; Departamento de Planificación Nacional DNP, 2014). (Díaz, 2015).

Como resultado, las necesidades de planificación y gestión en las zonas marinas, costeras e insulares del país han aumentado en las últimas décadas. Como resultado, se han desarrollado herramientas de gestión ambiental que facilitan la planificación del

desarrollo, la planificación del uso del suelo y la gestión ambiental a nivel nacional, sectorial y municipal, incluyendo la política ambiental y la identificación de áreas marinas protegidas (INVEMAR, 2020).

Estas herramientas deben contar con datos e información actualizados para establecer una base de referencia para monitorear el desarrollo de los recursos vivos y garantizar el funcionamiento adecuado de estos ecosistemas. Sin embargo, estos estudios pueden llevar mucho tiempo (hasta 40 años), sin mencionar el gran presupuesto, por lo que en los últimos años se han desarrollado algunas alternativas para superar estas deficiencias utilizando los Protocolos de Evaluación Rápida (Rapid Assessment Protocols - RAPs).

Dentro de estos sensores se encuentran ecosondas, que se inventaron a principios del siglo XX para uso militar; sin embargo, las capacidades de estos dispositivos han mejorado enormemente en las últimas décadas tras el desarrollo de ecosondas multihaz. Este sonar multihaz no solo nos ayuda a calcular de forma precisa valores de profundidades en un cuerpo de agua, sino que también permite estudiar con altos grados de detalle, determinadas características del fondo marino (Monroy Silvera et al., 2016). La ventaja del sonar multihaz respecto a la generación anterior de sonar monohaz es su mayor cobertura, por lo que se puede cubrir todo el fondo marino con el mismo patrón de navegación (Andrade-Amaya, 2021).

Por lo tanto, en este estudio se utilizó como RAPs la información recolectada por un sonar multihaz en la parte noroeste de la Isla de Providencia, ubicada en el Mar Caribe colombiano, para identificar arrecifes de coral a partir de estos datos batimétricos como herramienta de análisis, evaluación y seguimiento de los valores de cada organismo presente en el ecosistema (Álvarez, 2005).

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

La Isla de Providencia está localizada al suroeste del Caribe colombiano en la posición geográfica latitud 13°20'56" N, Longitud 81°22'29" W y hace parte de un conjunto de islas oceánicas, atolones y bancos de coral alineados NNE-SSW del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina como se observa en la figura 1, que conforman la Reserva de la Biosfera Seaflower (Geister y Díaz, 2007).

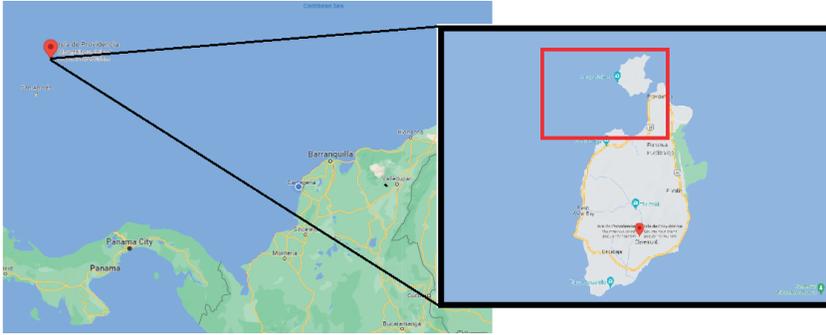


Figura 1 Ubicación geográfica de la Isla Providencia.

Teniendo en cuenta que no se cuenta como mucha información científica del área de estudio referente a identificación de corales con sistemas batimétricos multihaz, se planteó una investigación de carácter exploratoria, porque se procedió a identificar de forma precisa los arrecifes coralinos en el área de estudio, de tal manera que se pueda aportar considerablemente en su conservación y seguimiento.

Para ello se recolectaron datos por dos días de campo haciendo seguimiento a un plan de 92 líneas de levantamiento o transectos, en el canal navegable de acceso al puerto de la isla Providencia como se puede observar en la figura 2, la toma de datos se realizó a bordo de una lancha siguiendo la ruta planteada.

Para la toma de datos se utilizó un ecosonda multihaz, que permite ir guardando los datos brutos que posteriormente fueron procesados en laboratorio en tierra.

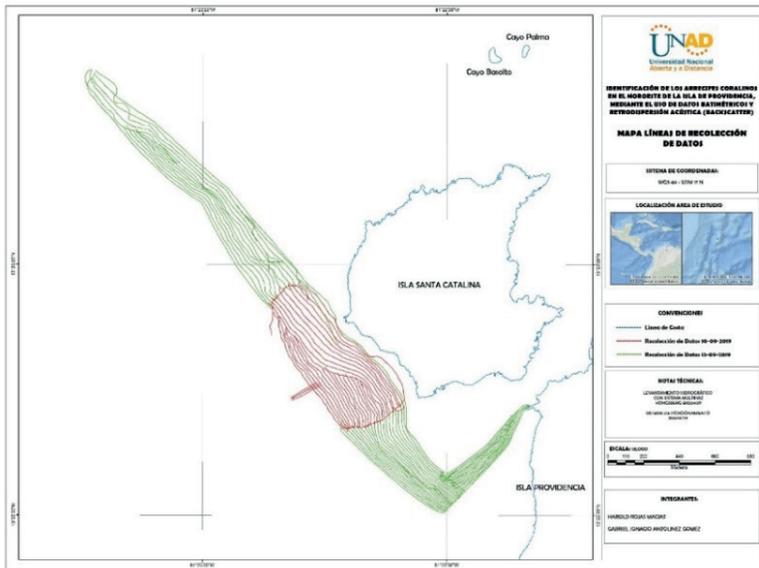


Figura 2 Mapa Líneas de recolección para recolección de datos.

Elaboración propia

Para el estudio se tuvieron en cuenta las recomendaciones metodológicas aplicables en este tipo de investigación, enfocando el método científico y refiriendo el tipo de estudio que mejor describiera el proceso necesario en la adquisición de los resultados.

La investigación científica de carácter exploratorio constituye aquella sobre la cual no se cuenta con suficiente información secundaria (Tania Guffante Naranjo, 2016), sin embargo, para este caso se tiene en cuenta además de dicha característica, el uso del proceso descriptivo, donde se emplean las herramientas que permiten caracterizar el fondo marino, de manera que pueden describirse las formaciones claves que definen el objeto de estudio.

Entonces, teniendo en cuenta las peculiaridades que definen la investigación exploratoria y descriptiva, precisan estas su aplicación en el nivel de investigación del caso de estudio.

La exploración descrita en el documento se define como investigación de campo, a pesar de que los datos compartidos por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, fueron obtenidos como archivos brutos y con los anexos necesarios para su análisis y determinación; sería escueto enmarcar el proceso como investigación meramente documental.

Teniendo en cuenta la importancia de soportar la investigación en un proceso formal de acuerdo con el método científico, se define como método el inductivo, ya que se toma un caso puntual de observación de la realidad, se adquieren los datos, se someten a procesos de verificación, limpieza y correcciones, que finalmente permiten plantear hipótesis en respuesta a la pregunta problema.

Además, dado que los datos resultantes tienen varias propiedades correlacionadas, como valores de retro dispersión, pendiente y altura, se define como un método sintético. En definitiva, tras aplicar los valores que afectan a la incertidumbre de los datos, se pueden recoger los valores en su totalidad y definir las hipótesis finales. Esto se evidencia en la producción gráfica y los resultados de la investigación.

En cuanto a la naturaleza de los datos, el uso de métodos cuantitativos y cualitativos muestra la relevancia de la experiencia de los investigadores en este campo. Las consideraciones cuantitativas corresponden a la cuantificación de valores absolutos obtenidos mediante instrumentos de medición, análisis de datos en software de procesamiento numérico y valores representados por superficies gráficas. Tiene en cuenta cualitativamente el conocimiento previo de indicadores ambientalmente relevantes conocidos en el área de estudio.

A partir de las interpretaciones de los investigadores, observaciones del área y experiencias de campo, sustentadas en los datos cuantitativos obtenidos, es posible extraer conclusiones de la investigación descriptiva utilizada en el estudio de caso.

Se creó una tabla de datos generales para el muestreo como se muestra en la figura 3 y 4 para el control de calidad y seguimiento de la recopilación de datos de campo.

Para el diseño de muestreo se establece una ficha de datos generales como se observa en la figura 5, para hacer el control de calidad y seguimiento de la recolección de datos en campo.

<b>Ficha de Datos Generales No. 1</b>	
<b>Fecha</b>	10 de septiembre/2019
<b>Hora</b>	10:02 am
<b>Ubicación Geográfica</b>	Isla de Providencia
<b>Jefe de Campo</b>	Harold Rojas Macías
<b>Coordenadas Geográficas</b>	Latitud 13°22'59,95" N Longitud 081°22'52" W
<b>Profundidad Máxima</b>	90 centímetros
<b>Profundidad Mínima</b>	19 metros
<b>Condiciones Meteorológicas</b>	Buenas
Altura de la ola	1 metro
Velocidad del viento	6 m/s
<b>Condiciones Climáticas</b>	Clima cálido, cielo despejado, temperatura 30° C
<b>Líneas recolectadas</b>	31
<b>Ecosonda</b>	Ecosonda multihaz Kongsberg EM2040P
<b>Sistema de Posicionamiento</b>	DGPS SeaPath 130
<b>Perfilador de Velocidad del Sonido</b>	AML Minos X
<b>Perfiles Tomado</b>	1
<b>Embarcación</b>	Tipo Soundermax

Figura 3 Ficha de datos generales día 1.

Elaboración propia

<b>Ficha de Datos Generales No. 2</b>	
<b>Fecha</b>	13 de septiembre/2019
<b>Hora</b>	09:05 am
<b>Ubicación Geográfica</b>	Isla de Providencia
<b>Jefe de Campo</b>	Harold Rojas Macías
<b>Coordenadas Geográficas</b>	Latitud 13°23'40,79" N Longitud 081°23'26,75" W
<b>Profundidad Máxima</b>	90 centímetros
<b>Profundidad Mínima</b>	19 metros
<b>Condiciones Meteorológicas</b>	Buenas
Altura de la ola	1 metro
Velocidad del viento	9 m/s
<b>Condiciones Climáticas</b>	Clima cálido, cielo despejado, temperatura 30° C
<b>Líneas recolectadas</b>	61
<b>Ecosonda</b>	Ecosonda multihaz Kongsberg EM2040P
<b>Sistema de Posicionamiento</b>	DGPS SeaPath 130
<b>Perfilador de Velocidad del Sonido</b>	AML Minos X
<b>Perfiles Tomado</b>	1
<b>Embarcación</b>	Tipo Soundermax

Figura 4 Ficha datos generales día 2.

Elaboración propia

La información se recogió utilizando la Ecosonda multihaz Kongsberg EM2040P (tabla 1), durante cinco días de investigación hidrográfica a bordo de Soundermax dentro de la expedición científica Seaflower 2019 a las islas Old Providence y Santa Catalina en septiembre. Además, los datos de velocidad del sonido se recopilieron con perfiladores de velocidad del sonido AML Minos X y el software SeaCast versión 4.3.0, todos complementados con datos de marea obtenidos de las redes hidrográficas verticales (DIMAR,2020).

Parámetro	Descripción
Operación	Software SIS 4.3.2
Frecuencia de operación	200-700 kHz
Cantidad de haces	512 (simple) 1024(dual)
Cobertura	>170 °
Profundidad	30 m

Tabla 1 Especificaciones técnicas del ecosonda multihaz Kongsberg EM2040P empleada en este estudio.

Fuente: (Data Sheet EM 2024P MKII Multibeam)



Figura 6 Embarcación tipo soundermax con ecosonda Kongsberg EM2040P.

Fuente: propia.

Se realizaron transectos paralelos a 5-15 m de cada ruta para obtener un área total de 1,12 km<sup>2</sup> utilizando el sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) y datos WGS84.

Una vez culminada la fase de recolección de datos, estos fueron procesados en el Software Caris Hips and Sips versión 10.2.

**Ecuación 1.** Ecuación para hallar la profundidad en los cuerpos de agua.

$$S = \frac{V \times T}{2}$$

Donde *S* es el desplazamiento, *V* la velocidad y *T* el tiempo.

Con la data obtenida se elaboraron mapas de retrodispersión y de pendientes según especificaciones anteriores. Sólo la integración de estos dos mapas permite una localización clara y precisa de los arrecifes de coral.

El primer diagrama muestra el retorno de la onda acústica en decibeles. Una fuerte intensidad de retorno de onda acústica corresponde a fondos duros, mientras que los retornos de ondas acústicas débiles indican afinidad con los fondos blandos. Por otro lado, la diferencia en los valores de estas variables en el mapa de pendientes facilita la visualización de las geoformas.

La información obtenida de este análisis se comparó con la información proporcionada por buzos científicos que participaron en la VI expedición Seaflower 2019 y exploraron la misma zona a través de un transecto de buceo.

## DISCUSIÓN

La isla principal de Providencia tiene una superficie aproximada de 17,5 km<sup>2</sup>, en donde se encuentra extensos arrecifes (de aproximadamente 18 millas náuticas de largo) que rodean la isla al norte, este y sur de la costa, abarcando un área de 122,5 km<sup>2</sup>. La Isla Santa Catalina tiene una superficie aproximada de 2,5 km<sup>2</sup>, está ubicada al norte de Providencia y está separada por el Canal Aury, que tiene unos 130 metros de ancho. Low Cay está ubicado en la parte norte de la isla y siempre está por encima de la marea alta (DIMAR, 2019).

Providencia y Santa Catalina han preservado en gran medida sus paisajes naturales a medida que sus poblaciones han logrado ingresar al dinamismo del turismo y el desarrollo ambiental sustentable. Providencia es actualmente reconocida como el destino turístico más atractivo del Caribe en los planes nacionales, provinciales y municipales (DIMAR, 2019).

El área protegida (Reserva de la Biosfera Marina Floral) en la que se ubica esta isla fue declarada por el Programa Hombre y Biosfera de la UNESCO en el año 2000 e incluye todo el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Contiene ecosistemas típicos de regiones insulares tropicales, incluidas áreas con altos niveles de especies endémicas como vastos arrecifes de coral, praderas de pastos marinos, manglares, playas, mar abierto y bosques secos tropicales (Seaflower Foundation, 2019).

En las figuras 10 y figura 11, se pueden observar las fichas de datos generales recolectados en campo, que demuestran el seguimiento y el control de calidad de los datos guardados mediante el ecosonda multihaz.

Las áreas más someras se encuentran en la parte sur del levantamiento y las más profundas en la parte norte.

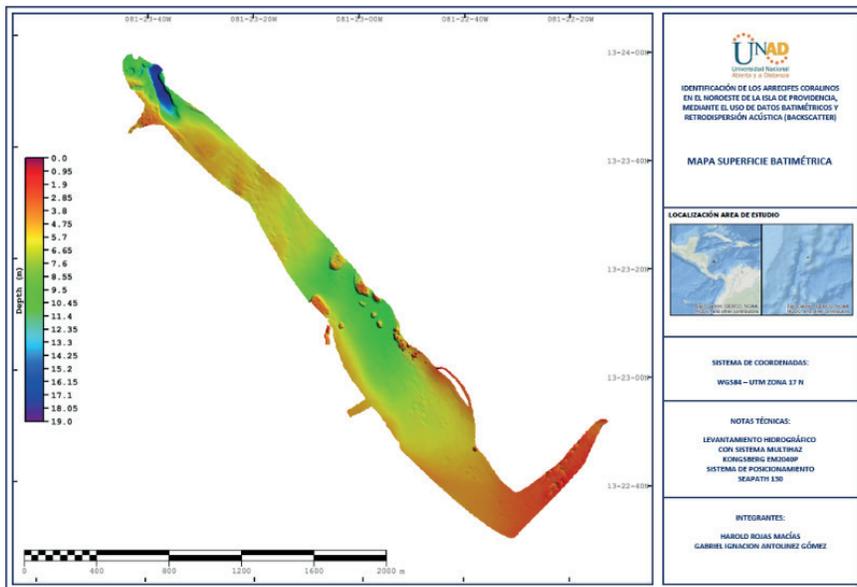


Figura 10 Mapa superficie batimétrica.

Fuente: propia.

La relación entre la intensidad de la retro dispersión y el ángulo de incidencia se utilizó para caracterizar los tipos de fondo en las áreas de estudio (Rodrigo, 2003). Luego se calcularon mapas de intensidad y ángulo de incidencia en función de los datos recopilados.

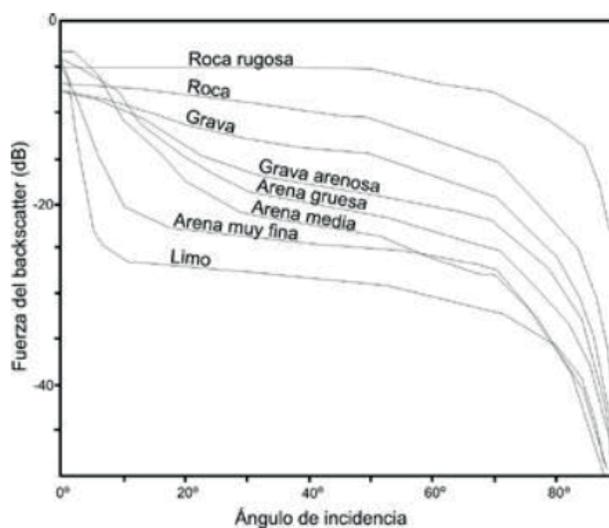


Figura 11 Relación entre intensidad acústica de Backscatter y ángulo de incidencia, según el tipo de fondo.

Fuente: Rodrigo, 2003.

La Figura 12 muestra el mapa de retrodispersión acústica. Los valores de intensidad obtenidos en decibelios proporcionan una distinción superficial general entre promedios duros resultantes de valores de alta intensidad (colores oscuros) y promedios suaves resultantes de valores de baja intensidad (colores claros).

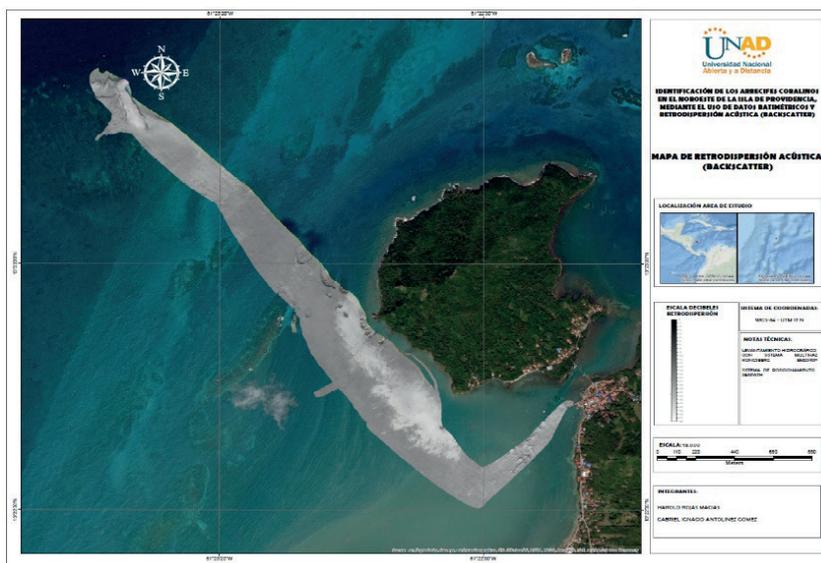


Figura 12 Mapa de retrodispersión acústica (Intensidades acústicas).

Fuente: propia.

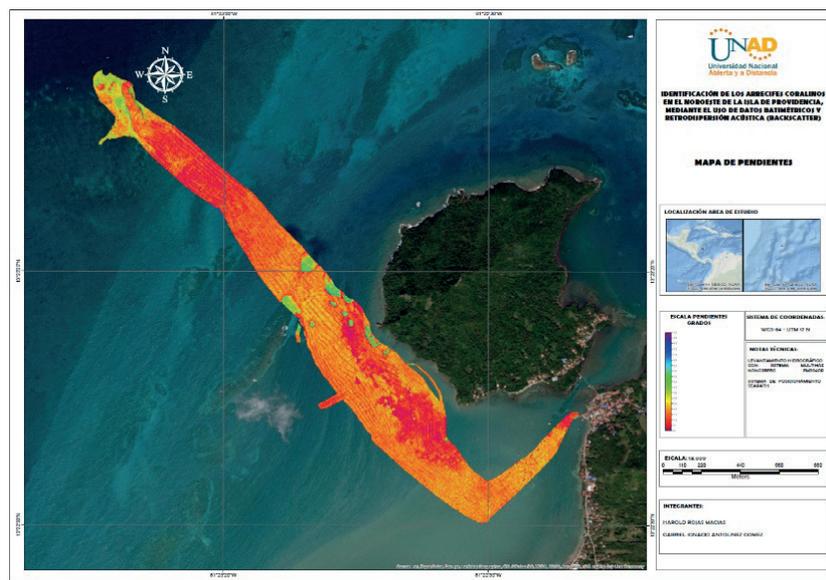


Figura 13 Mapa de pendientes (Ángulos de incidencia).

Fuente: propia.

El mapa de pendientes con valores de ángulos permite identificar claramente la topografía del fondo marino del área de estudio. Como se muestra en la imagen anterior, las geoformas con pendientes más pronunciadas se muestran en verde y los fondos sin pendientes marcadas se muestran en rojo.

Las pendientes más pronunciadas se encuentran en la parte central (40-55°) y en la parte norte de la cresta (40-45°), siendo más pronunciadas en la parte central. El sur tiene la pendiente más baja, incluso cercana a cero (menos de 5°) en algunas zonas.

Al correlacionar los valores de intensidad y ángulo de incidencia e interpretar la tabla de intensidad acústica versus ángulo de incidencia, es posible tabular los resultados obtenidos en las regiones máxima y mínima y sus respectivas clasificaciones (a partir de la Tabla 3, para determinar esto). Se puede observar que existen tres tipos de sedimentos en el área de estudio: arena fina, arena muy fina, limo y roca/coral. (Tabla 2).

En la tabla 2 se muestra que existen tres tipos de depósitos en el área de estudio. Arena fina, arena muy fina, limos y rocas/corales.

<b>SEDIMENTO</b>	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>PROMEDIO</b>
Arenas finas	-17,42	-18,72	-18,07
Arenas muy finas	-12,379	-17,4	-14,8895
Limos	-18,753	-27,426	-23,0895
Roca/Coral	-5	-12,3	-8,65

Tabla 2 Datos resultantes de la relación entre intensidad acústica (Backscatter) y el Ángulo de incidencia.

Con estos resultados se generó una capa con los valores obtenidos y clasificados por colores como lo muestra la figura 14, con el fin de caracterizar el fondo marino del área de estudio e identificar los tipos de fondos existentes, entre estos las áreas coralinas.

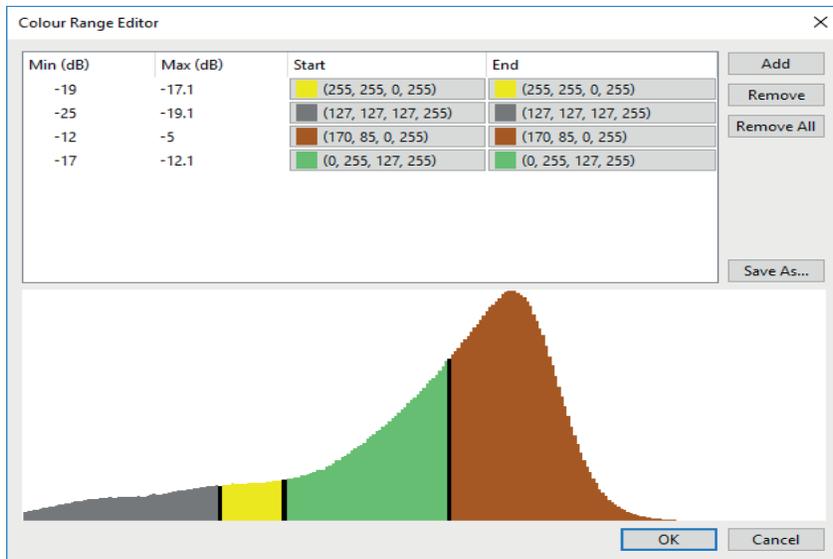


Figura 14 Distribución de intensidades acústicas de acuerdo al tipo de fondo en el software Caris Hips and Sips.

Fuente: propia.

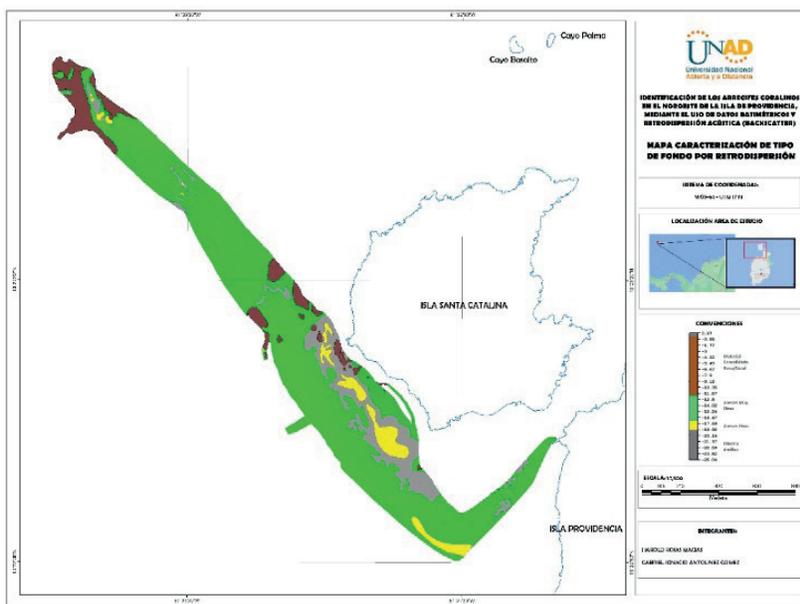


Figura 15 Mosaico de caracterización de tipo de fondo marino.

Fuente: propia.

De acuerdo con la figura 15 el área de estudio es de 1.124.433,92 metros cuadrados (1,12 kilómetros cuadrados), en la zona central y suroeste del área de estudio se encuentra la mayor parte de arrecifes coralinos correspondiente a un área de 103.518,21 metros cuadrados (10% del área levantada), además, gran parte de la zona norte y sureste está dominada por arenas finas y muy finas.

A partir de estos mapas se identificaron las geoformas asociadas con arrecifes coralinos, información que coincide con las inspecciones submarinas realizadas en la zona por los buzos científicos, en el desarrollo de la expedición Seaflower 2019.

## CONCLUSIONES

Los datos batimétricos recopilados en la parte noroeste de la Isla de Providencia y su correspondiente procesamiento nos permiten evaluar las características de la zona coralina en menos tiempo, menos esfuerzo y con mayor precisión que otros tipos de herramientas.

Los mapas producidos permiten identificar la topografía asociada a la zona central del estudio y los arrecifes de coral del norte, demostrando su efectividad y eficiencia en la identificación de formaciones coralinas en el área de estudio.

La georreferenciación de sustratos de arrecifes de coral mediante sonar multihaz no se ve afectada por la profundidad del agua, la visibilidad, la incidencia de la luz ni el tiempo. Por lo tanto, se considera una mejor alternativa a los métodos tradicionales de líneas de transecto e imágenes satelitales en términos de tiempo, costos de inversión y resultados obtenidos, especialmente para estudios de gran tamaño.

Es posible identificar las propiedades acústicas de diferentes tipos de materiales. B. Representación geoespacial fiel de los depósitos de coral duro y sedimentos blandos, diferencias de pendiente y área y elementos de estudio. Este estudio proporciona evidencia adicional de que los ecosondas son un método excelente para evaluar la distribución de los arrecifes de coral, especialmente en áreas de difícil acceso y alejadas de la costa, lo que facilita el desarrollo de herramientas y planes de protección, conservación y conservación. Área de apoyo a la conservación de esta reserva marina.

Por otro lado, es importante resaltar que solo el 10% de área evaluada presenta arrecifes coralinos, lo que nos lanza una alerta no solo en seguir desarrollando este tipo de trabajos para establecer su identificación, sino además poder continuar con este tipo de trabajos en otras zonas y realizar monitoreo y seguimiento a estas comunidades de arrecifes que vienen enfrentando graves alteraciones en su ecosistema.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**Harold Rojas Macías** conceptualización, metodología de la investigación, redacción – borrador inicial.

**Gabriel Ignacio Antolínez** conceptualización, investigación, análisis y discusión, redacción – borrador inicial.

**Fanny Pinzón Candelario**: redacción, revisión y edición del artículo

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, por el apoyo prestado en cuanto a recursos y equipos, para la adquisición de la información y su uso para el presente proyecto.

A la Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, por el apoyo para el desarrollo de este proyecto.

## REFERENCIAS

Costa, B., Battista, T., & Pittman, S. (2009). Comparative evaluation of airborne LiDAR and ship-based multibeam SoNAR bathymetry and intensity for mapping coral reef ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1082-1100. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.015>

Díaz, M. (2015). Afectación y protección. *Verbum*, 10(10), 95-116. Obtenido de <http://repository.usergioarboleda.edu.co/bitstream/handle/11232/883/Afectacion%20y%20proteccion%20de%20ecosistemas%20marino%20costeros%20en%20Colombia.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

DIMAR. (2019). capítulo J Isla de Providencia y Santa Catalina. En DIMAR, *Derrotero de las costas y áreas insulares del Caribe y Pacífico Colombianos* (págs. J-1, J-30). DIMAR.

DIMAR. (2020). *Climatología puertos del caribe Colombiano*. DIMAR. Recuperado el 12 de 09 de 2020, de [https://www.cioh.org.co/images/site/principales\\_puertos/pdf/1\\_PROVIDENCIA.pdf](https://www.cioh.org.co/images/site/principales_puertos/pdf/1_PROVIDENCIA.pdf)

DNP. (2014). *Bases para el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, Todos por un nuevo país, Paz, Equidad y Desarrollo*. Bogotá. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/prensa/bases%20plan%20nacional%20de%20desarrollo%202014-2018.pdf>

Geister, J., & Díaz, J. (2007). *Ambientes arrecifales y geología de un archipiélago oceánico: San Andrés, Providencia y Santa Catalina (mar Caribe, Colombia) con guía de campo*. Ingeominas. Obtenido de <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/AmbGeolArch-SAnd-Prov-SCat-.pdf>

Guarderas, A., Hacker, S., & Lubchenco, J. (2008). Estado Actual de las Áreas Marinas Protegidas en Latinoamérica y el Caribe. *Conservar Biol*, 22, 1630 - 1640. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01023.x>

INVEMAR. (2020). *Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2019*. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Obtenido de [http://www.invemar.org.co/documents/10182/0/IER-2019\\_Informe\\_del\\_estado\\_de\\_los\\_ambientes\\_y\\_recursos\\_marinos/b7520e57-5cdc-4558-a3d4-bea36f767a98](http://www.invemar.org.co/documents/10182/0/IER-2019_Informe_del_estado_de_los_ambientes_y_recursos_marinos/b7520e57-5cdc-4558-a3d4-bea36f767a98)

Kongsberg. (s.f.). Recuperado el 2019, de [https://www.kongsberg.com/contentassets/2b09d642b1604c78941086c6ce60a9b0/437136aj\\_em2040p\\_mk2\\_data\\_sheet.pdf](https://www.kongsberg.com/contentassets/2b09d642b1604c78941086c6ce60a9b0/437136aj_em2040p_mk2_data_sheet.pdf)

Monroy Silvera J., A. C. (2016). Aproximación a una metodología para la generación de productos de backscatter con la infraestructura tecnológica del Servicio Hidrográfico Nacional (SHN- CIOH). *Boletín Científico CIOH*.

Mosca, F., Matte, G., Lerda, O., Naud, F., Charlot, D., Rioblanc, M., & Corbières, C. (2016). Scientific potential of a new 3D multibeam echosounder in fisheries and ecosystem research. *Fisheries Research*, 178, 130-141. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.10.017>

Portz, L., Portantiolo, R., Villate-Daza, D., & Fontan-Bouzas, A. (2022). Where does marine litter hide? The Providencia and Santa Catalina Island problem, SEAFLOWER Reserve (Colombia). *Science of The Total Environment*, 813, 151878. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151878>

Rodrigo, C. (2006). Caracterización y clasificación de la bahía de Puerto Montt mediante batimetría de multihaz y datos de backscatter. *Investigaciones Marinas*. Obtenido de [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-71782006000100007&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-71782006000100007&script=sci_arttext&tlng=pt)

Rojas-Higuera, P., & Pabón-Caicedo, J. (2015). Sobre el calentamiento y la acidificación del océano mundial y su posible expresión en el medio marino costero colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat*, 39(151), 201-217. doi:<http://dx.doi.org/10.18257/raccefy.135>

Seaflower Foundation. (2019). *Seaflower Foundation*. Obtenido de <https://seaflowerfoundation.org/reserva-de-la-biosfera.html>

Tania Guffante Naranjo, F. G. (2016). Investigación Científica: El proyecto de Investigación. Obtenido de [https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24891w/Investigacion\\_cientifica\\_el%20proyecto\\_de\\_investigacion.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24891w/Investigacion_cientifica_el%20proyecto_de_investigacion.pdf)