

# Influencia de la temperatura y salinidad en la velocidad del sonido en aguas someras de la bahía de Tumaco

## *Influence of temperature and salinity on the sound speed in shallow waters of the Tumaco Bay*

DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2022.586> Fecha de recepción: 2021-12-28 / Fecha de aceptación: 2022-08-02

Yessica C. Cantero M.<sup>1</sup>; Carlos A. Astaiza O.<sup>2</sup>; Carlos A. Ruz P.<sup>3</sup>

### CITAR COMO:

Cantero, Y.; Astaiza, C.; Ruz, C. (2022). Influencia de la temperatura y salinidad en la velocidad del sonido en aguas someras de la bahía de Tumaco. *Bol. Cient. CIOH*; 41(1): 19-32. ISSN impreso 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2022.586>

### RESUMEN

El presente trabajo establece los rangos de variación horizontal y vertical de la velocidad del sonido en la bahía de Tumaco (Nariño, Colombia), y describe su comportamiento a partir de datos registrados en campo con el objetivo de identificar el efecto de la profundidad, temperatura y salinidad en su variabilidad. En el área de estudio se distribuyeron perfiles con resolución espacial aproximada de 500 m; 184 perfiles de columna de agua para mayo de 2019 y 165 perfiles para abril de 2021. Los resultados obtenidos muestran una variación de velocidad del sonido entre 1526.6 m/s y 1540.3 m/s para los perfiles del año 2019, y entre 1518.5 m/s y 1542.82 m/s para el 2021. El valor medio obtenido para las dos fechas no supera una diferencia de 0.69 m/s. En el 2019, la temperatura varió de 25.75°C a 29.21°C y no se obtuvieron datos de salinidad. Para el 2021, la temperatura varió entre 26.88°C y 29.84°C, y los valores de salinidad, entre 11.36 y 35.44. En los mapas de las dos fechas coincide una zona de variación significativa de velocidad del sonido que se asoció a la desembocadura del río Mira.

**PALABRAS CLAVE:** perfil, velocidad del sonido, temperatura, profundidad, salinidad, bahía de Tumaco.

### ABSTRACT

*The present study establishes the horizontal and vertical variation of the sound speed in Tumaco Bay (department of Nariño, Colombia) and describes its behavior from data recorded in field surveys with the aim of identifying the effect of depth, temperature and salinity on its variability. Profiles with an approximate spatial resolution of 500m were distributed in the study area: 184 water column profiles for May 2019 and 165 profiles for April 2021. The results obtained show a variation in the sound speed between 1526.6 m/s and 1540.3 m/s for the 2019 profiles, and between 1518.5 m/s and 1542.82 m/s for 2021. The difference between the average values obtained for the two dates does not exceed 0.69 m/s. In 2019, the temperature ranged from 25.75°C to 29.21°C and no salinity data was obtained. For 2021, the temperature varied between 26.88°C and 29.84°C and the salinity values between 11.36 psu and 35.44 psu. In the maps of both dates, there was an area of significant variation in the sound speed, which was associated with the mouth of the Mira River.*

**KEYWORDS:** profile, sound speed, temperature, depth, salinity, Tumaco Bay.

<sup>1</sup> Orcid: 0000-0003-4057-188X. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP). Correo electrónico: y.carolmosquera@gmail.com

<sup>2</sup> Orcid: 0000-0003-0040-3902. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP). Correo electrónico: castaiza31@gmail.com

<sup>3</sup> Orcid: 0000-0002-6710-0271. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP). Correo electrónico: carlosruz900209@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con una privilegiada posición geográfica gracias a la gran diversidad marina proporcionada por el mar Caribe y el océano Pacífico, condiciones que brindan una fuente importante de recursos que son un eje económico de la misma. Por ello se realizan estudios de variables que permiten identificar, describir y caracterizar procesos que aportan a la información oceanográfica e hidrográfica para el tránsito marítimo.

El Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCCP) es el responsable de producir y entregar a la Dirección General Marítima (Dimar) los insumos del conocimiento científico de la costa Pacífica necesarios, tanto para ejercer su autoridad, como para coordinar y controlar las actividades marítimas (Navas *et al.*, 2017).

El desarrollo de actividades marítimas implica, entre otras, establecer vías navegables, señalar e identificar peligros que permitan garantizar una navegación segura. Para lograr esto se requiere conocer la geomorfología del fondo marino, para lo cual se realizan campañas de levantamiento hidrográfico a partir del empleo de ecosondas monohaz y/o multihaz, cuyo funcionamiento se basa en la emisión y recepción de señales acústicas que permiten determinar las profundidades y relieve del lecho marino.

La propagación de las ondas acústicas es distorsionada debido a fluctuaciones de temperatura, salinidad y presión a lo largo de variaciones espaciales y estacionales (Ali, Sakira y Radhika, 2011). La temperatura varía con la profundidad, tiempo, localización y condiciones meteorológicas (Remiro, 2019) y, a su vez, la salinidad varía como consecuencia de las mareas y los volúmenes de agua dulce aportada por la precipitación de las lluvias en el área costera y los aportes de aguas continentales en las desembocaduras de los ríos (Reyna *et al.*, 2013).

De acuerdo con lo planteado por Peyton, Beaudoin y Lamplugh (2009), el sondeo a través de la columna de agua para establecer la velocidad del sonido es un componente importante para determinar el total de incertidumbre propagada (TPU, por sus siglas en inglés), específicamente

en los levantamientos multihaz, como resultado de la corrección de refracción; si las variaciones de velocidad de la propagación del sonido son significativas, las lecturas de sondeo pueden llegar a experimentar alteraciones de varios metros.

La precisión del levantamiento batimétrico se puede mejorar enormemente usando datos de perfil de velocidad de sonido (Jin, Sun, Bao, Liu y Cui, 2015). Carecer del conocimiento sobre la velocidad del sonido en la columna de agua dificulta la correcta determinación de las profundidades del agua, dando como resultado, según sea el caso, distorsiones cóncavas o convexas de la superficie del lecho marino (Mohammadloo, Snellen, Renoud, Simons y Beaudoin, 2019).

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo estudia el comportamiento de la velocidad del sonido en la bahía de Tumaco (Nariño, Colombia), con el objetivo de conocer los rangos de variación horizontal y vertical de la velocidad del sonido en aguas someras.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la zona delimitada por la carta náutica COL 770 Puerto de Tumaco, en el marco de las coordenadas geográficas comprendidas entre 1°48'6.3174" y 1°52'0.2676" de latitud Norte y entre 78°42'1.656" y 78°46'46.185" de longitud Oeste, al interior de la bahía de Tumaco, costa Pacífica del departamento de Nariño. De acuerdo con la clasificación del modelo climático de Köppen, la región se caracteriza por un clima tropical lluvioso (Pabón, Eslava y Gómez, 2001).

Se diseñó una malla con resolución espacial aproximada de 500 m, en la que se representaron 184 perfiles de columna de agua para mayo de 2019 y 165 para abril de 2021. La distribución de los puntos donde se obtuvieron los perfiles en la bahía para cada fecha se ilustra en la Fig. 1.

## METODOLOGÍA

En mayo de 2019 se realizaron las mediciones en campo, para lo cual se empleó un perfilador Digibar S, instrumento que utiliza un transductor acústico de 2 MHz y un circuito de tiempo de vuelo, el cual emite sonido a una distancia

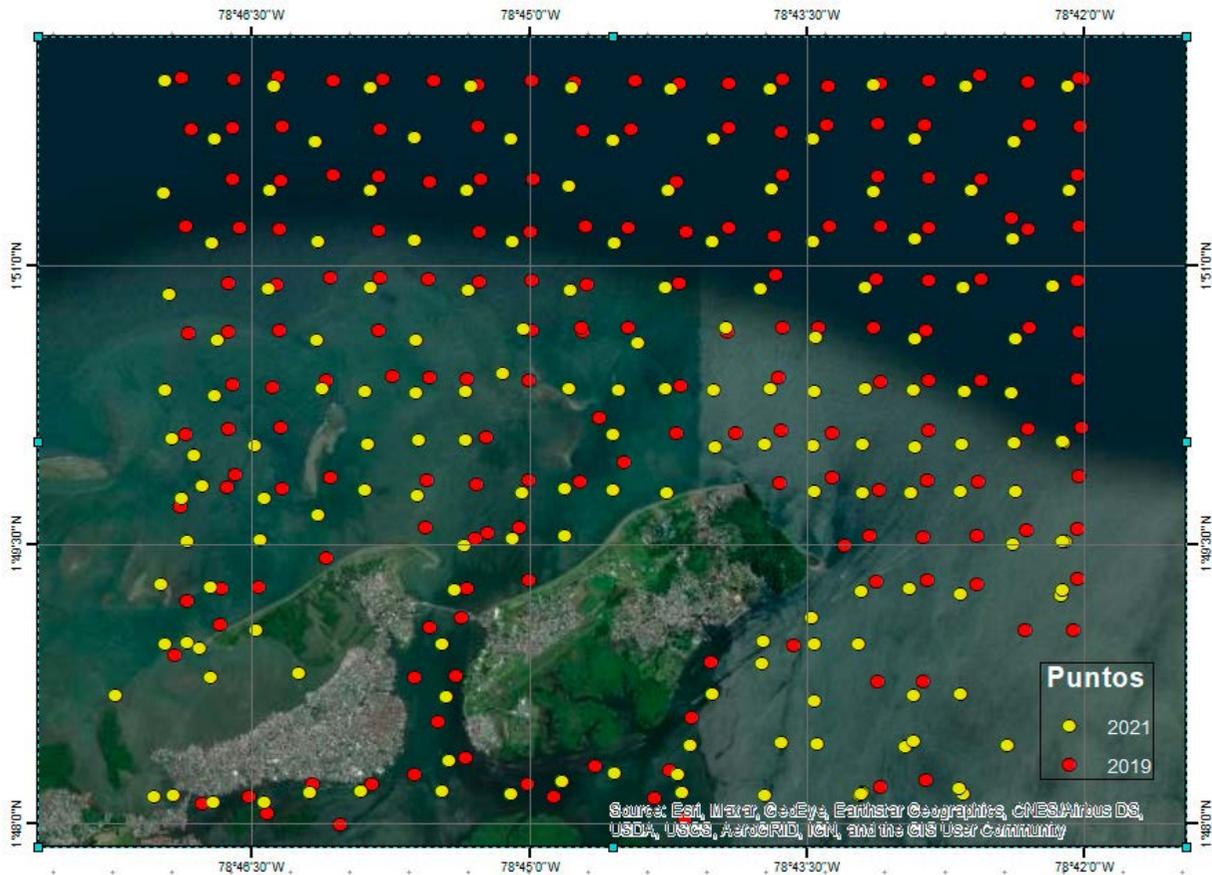


Figura 1. Zona de estudio.

conocida para medir la velocidad del sonido de forma directa; simultáneamente, proporciona datos de temperatura y presión en la columna de agua, mediciones que se almacenan internamente y luego son descargadas utilizando un puerto USB (TELEDYNE, 2022).

En abril de 2021 las mediciones de presión, temperatura y salinidad se realizaron con un perfilador CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*), a partir de las cuales se derivó la velocidad del sonido. El CTD es un equipo de alta resolución y precisión dinámica, que admite numerosos sensores auxiliares, celda de conductividad de campo interno que minimiza los picos de salinidad, termistor protegido contra la presión que brinda estabilidad y un sensor de presión con compensación de temperatura. Los datos se descargan haciendo uso del software SEA-CAT (SEA-BIRD SCIENTIFIC, 2022).

Para la ubicación geográfica de los puntos de muestreo se utilizó un GPS C-Nav3050, diseñado para integrarse fácilmente con el software de levantamiento hidrográfico (HYPACK, 2019), el cual permite el posicionamiento con un margen de error centimétrico. Las medidas se realizaron a bordo del bote Soundermax del CCCP, embarcación de eslora 9.1 m y calado máximo de 1 m.

Actualmente, para el procesamiento de los perfiles de velocidad del sonido en la columna de agua las herramientas informáticas muestran la distribución en la vertical para un único punto. Por ello, para la revisión en el plano horizontal y distribución espacial se creó una herramienta en software libre, denominada SS GRAPHIC (desarrollada en Python).

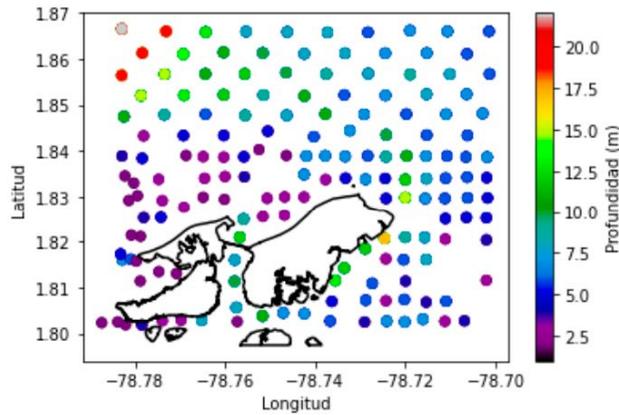
SS GRAPHIC es una herramienta potente con una interfaz amigable usuario que permite cargar archivos de diferentes formatos de

perfiles de velocidad del sonido y un archivo de posicionamiento de los perfiles, depura y procesa la información para generar dos archivos a partir de los cuales se generan gráficos en dos y tres dimensiones de las variables relacionadas.

Con la información recolectada en las salidas de campo y uso de la aplicación SS GRAPHIC se hizo una revisión del comportamiento de la velocidad del sonido con respecto a las medidas de profundidad, temperatura y salinidad disponibles para cada fecha.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

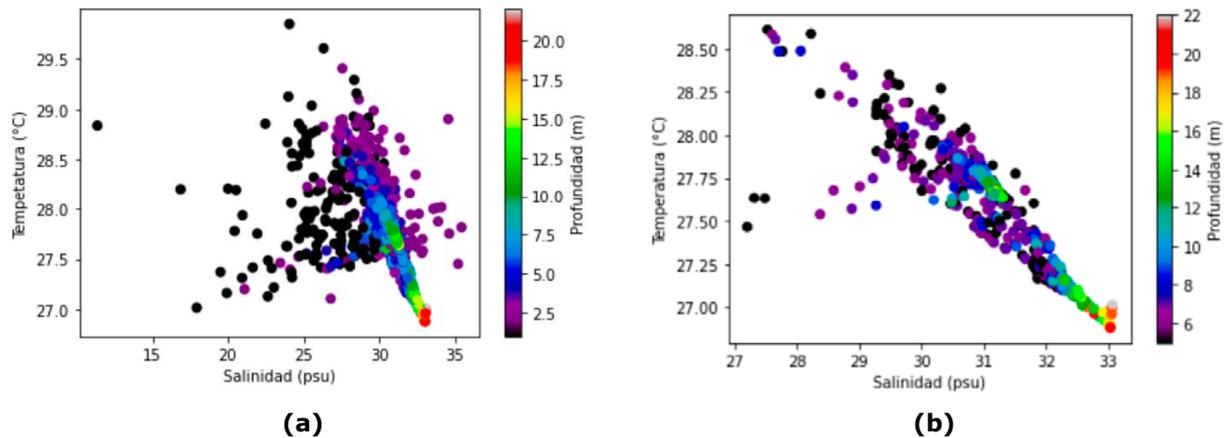
Con base en la información obtenida en 2019 y 2021 se realizó un bosquejo aproximado de la distribución espacial de las mediciones, en el cual se observa la profundidad máxima para cada punto de muestreo (Fig. 2). De acuerdo con Orozco-Villegas (2020) se definió realizar la caracterización en la capa de mezcla superficial, en la cual se presenta constante transferencia de energía, masa y momento entre la atmósfera y el océano.



**Figura 2.** Profundidad máxima de los puntos de muestreo en 2021.

La variabilidad espacial de las características termohalinas se observa en el diagrama temperatura-salinidad (T-S), en el cual se considera la relación T-S de todo el registro (Fig. 3a), y se evidencia mayor dispersión de los datos en las zonas más someras (registros con profundidades menores a 5 m). Sin embargo, en

los registros con profundidades mayores a 5 m (Fig. 3b) se observa un comportamiento lineal acorde a la identificación y clasificación de las masas de agua para el Océano Pacífico Tropical, como es el caso del agua superficial tropical (AST) ( $16^{\circ}\text{C} < T < 29^{\circ}\text{C}$  y  $29.5 < S < 34.6$ ), documentada por Millán y Bejarano (1989).

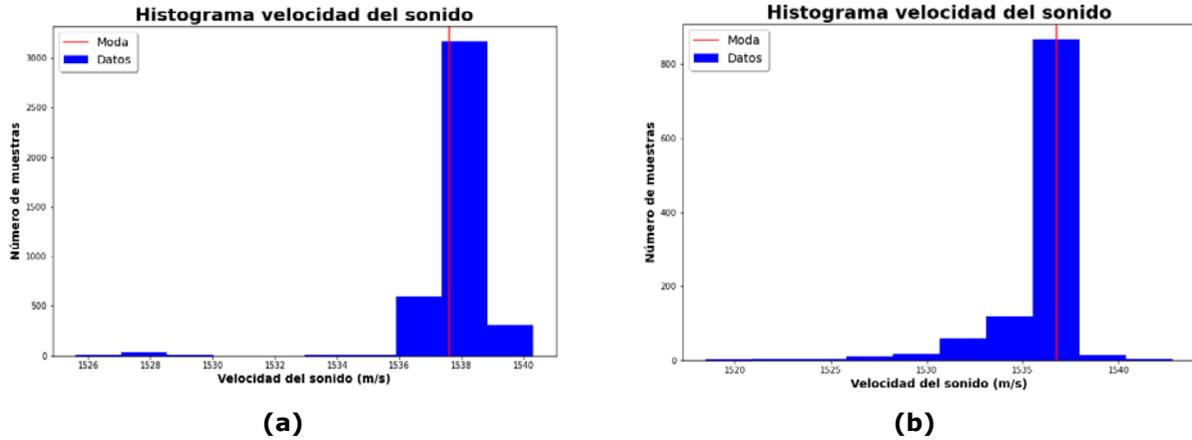


**Figura 3.** Diagrama T-S en el 2021: **(a)** Relación T-S para todas las profundidades. **(b)** Relaciones para profundidad mayores a 5 m.

Los datos de presión relacionados directamente con los valores de profundidad son utilizados como referencia para la columna de agua y la extracción de los planos horizontales. A partir de la información proporcionada por los 184 perfiles tomados en mayo de 2019 se obtuvo un valor promedio de velocidad de sonido de 1537.44 m/s, con una variación de 1526.6 m/s a 1540.3 m/s

para profundidades de 1 m a 26 m, donde para el 88 % de la zona de estudio las profundidades predominantes son del orden de los 6 m.

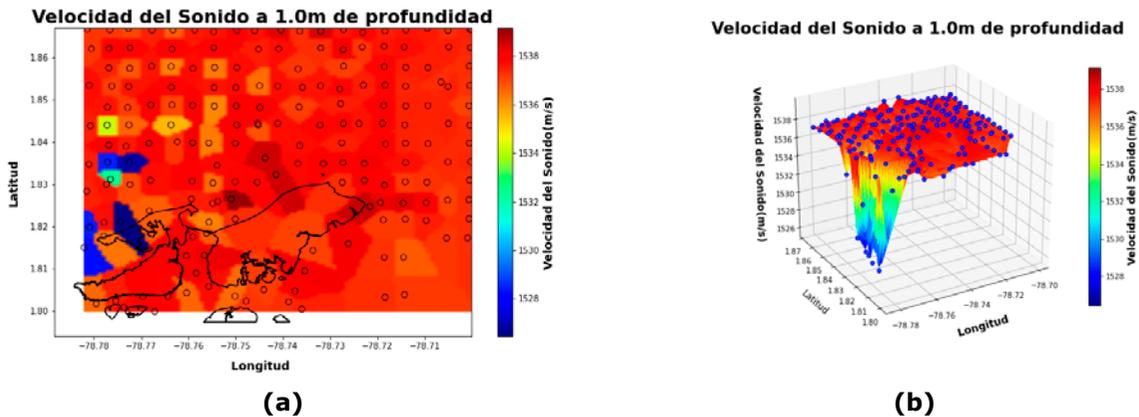
El registro de datos de velocidad del sonido, obtenidos vertical y horizontalmente, muestra que el 97.8 % de los mismos se encuentran en el intervalo entre 1534 m/s y 1541 m/s, y el 2.2 % están entre 1525 m/s y 1533 m/s (Fig. 4a).



**Figura 4.** Histograma de velocidad del sonido en mayo de 2019 (a) y abril de 2021 (b).

De otro lado, con la información disponible de los 165 perfiles registrados en abril de 2021 se obtuvo un valor promedio de velocidad de sonido de 1536.75 m/s, y una variación de 1518.51 m/s a 1542.82 m/s a profundidades de 1 m a 22 m. El registro de datos de velocidad del sonido consolida los valores obtenidos vertical y horizontalmente, y el histograma indica que el 95.3 % de los datos registrados están dentro del intervalo de 1534 m/s a 1543 m/s, y el 4.7 % se encuentra entre 1518 m/s a 1533 m/s (Fig. 4b).

Los valores predominantes de velocidad del sonido se mantuvieron entre 1536 m/s y 1539 m/s (Fig. 5). El valor medio obtenido para las dos fechas no supera una diferencia de 0.69 m/s. Después de obtener los valores representativos para cada fecha se revisó el mapeo horizontal de velocidad del sonido, extrayendo el valor medido a la misma la profundidad.



**Figura 5.** Velocidad del sonido a 1 m de profundidad en 2019: (a) Representación 2D y (b) Representación 3D.

En mayo de 2019 el gradiente de velocidad del sonido tuvo un rango de variación de 13.7 m/s, y gran parte de la zona de estudio para esa capa presentó una diferencia pequeña con respecto al valor medio obtenido. Al suroccidente de la bahía de Tumaco se observó un cambio significativo, encontrándose que el valor mínimo obtenido para la velocidad del sonido en esta zona fue de 1526.6 m/s.

La profundidad máxima que se encontró para esta zona fue de 4 m, por esta razón para analizar si la disminución de velocidad del sonido se mantenía con la variación de la profundidad se hizo una revisión del mapeo horizontal de 1 m a 4 m (figuras 6 y 7).

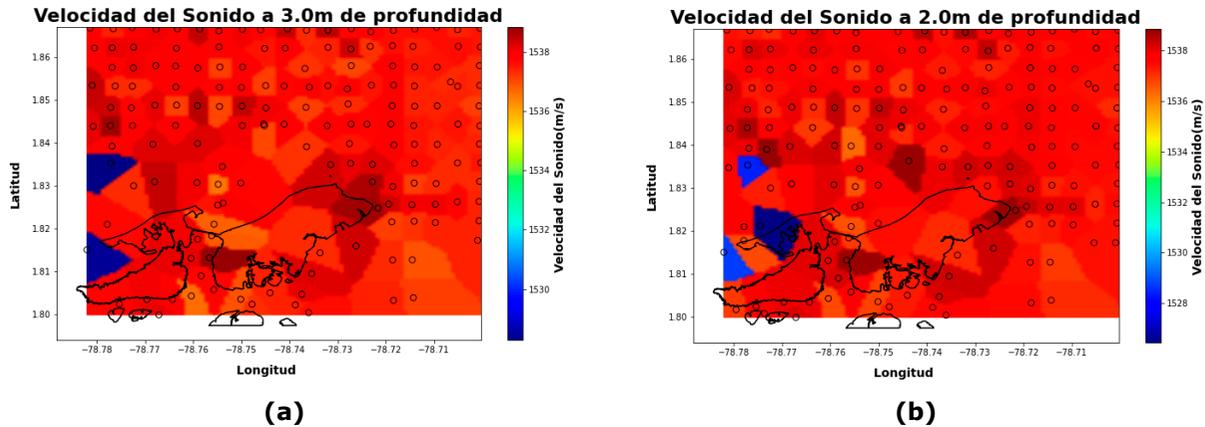


Figura 6. Velocidad del sonido en 2019 (a) 2 m de profundidad y (b) 3 m de profundidad.

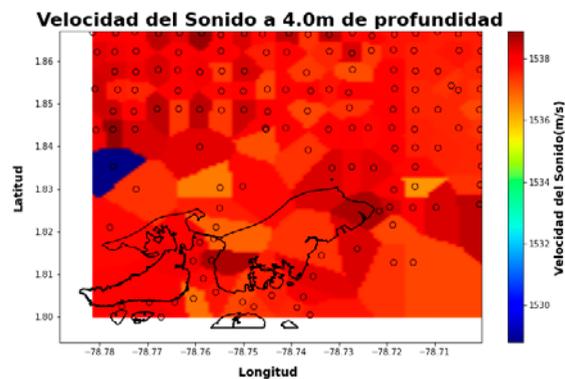
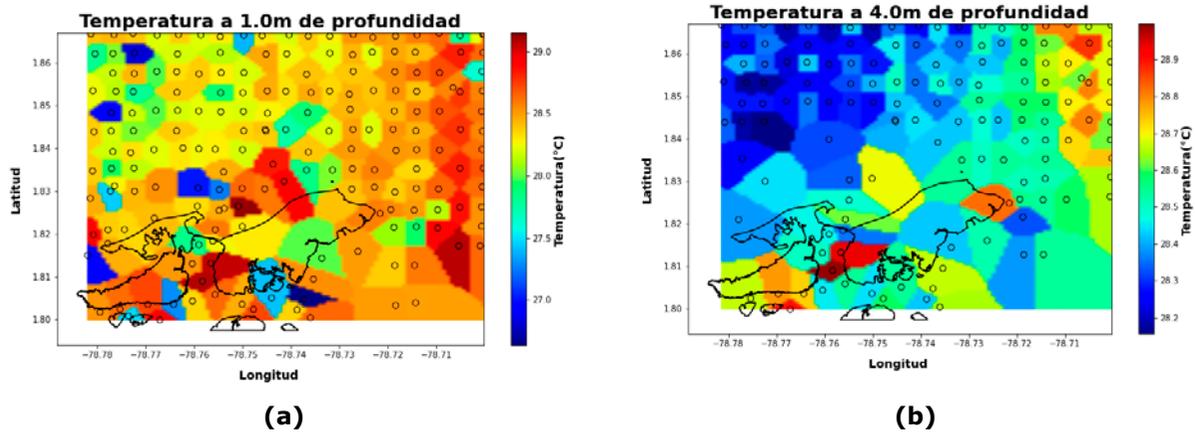


Figura 7. Velocidad del sonido en 2019 a 4 m de profundidad.

En las figuras anteriores se aprecia que el gradiente horizontal de velocidad del sonido mantuvo la tendencia con valores menores en la misma zona, y se identificó que el rango más amplio de variación se presentó en la capa más superficial a 1 m.

Adicionalmente, se revisó el mapeo de la temperatura para la misma fecha. Los valores de temperatura variaron entre 25.75 °C y 29.21 °C a un 1 m de profundidad (Fig. 8a).

En la misma capa se obtuvo también el rango de variación de temperatura más amplio; sin embargo, no se evidenció una correspondencia con el descenso de velocidad del sonido. La variación de la temperatura se asocia a factores como la velocidad y dirección de las corrientes, temperatura del aire, tipo de clima dominante, latitud del lugar, topografía submarina, el más importante la absorción de energía emitida por el Sol (Reyna *et al.*, 2013).

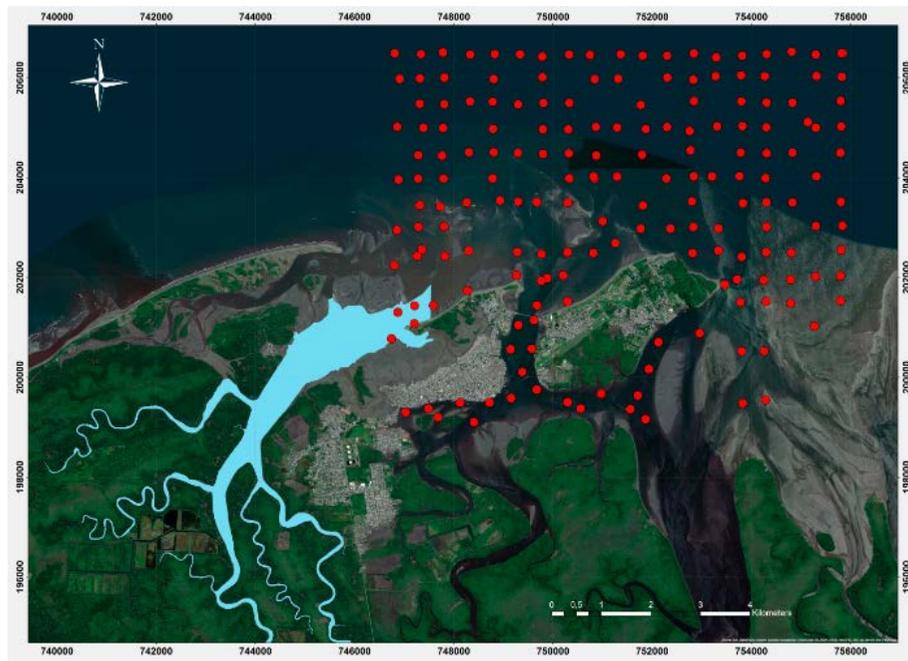


**Figura 8.** Temperatura en 2019: **(a)** 1 m de profundidad y **(b)** 4 m de profundidad.

Al revisar las capas se observó que el intervalo no supera los 2 °C, indicando un comportamiento más homogéneo en la horizontal con respecto a la variable. A una profundidad de 4 m (Fig. 8b) la temperatura cambia de 28.2 °C a 28.9°C, evidenciando que el intervalo de variación no supera 1 °C. Las capas de temperatura no tienen una correspondencia observable con la variación de velocidad del sonido.

Sin más información disponible para la fecha por las variables que entrega el perfil medido se

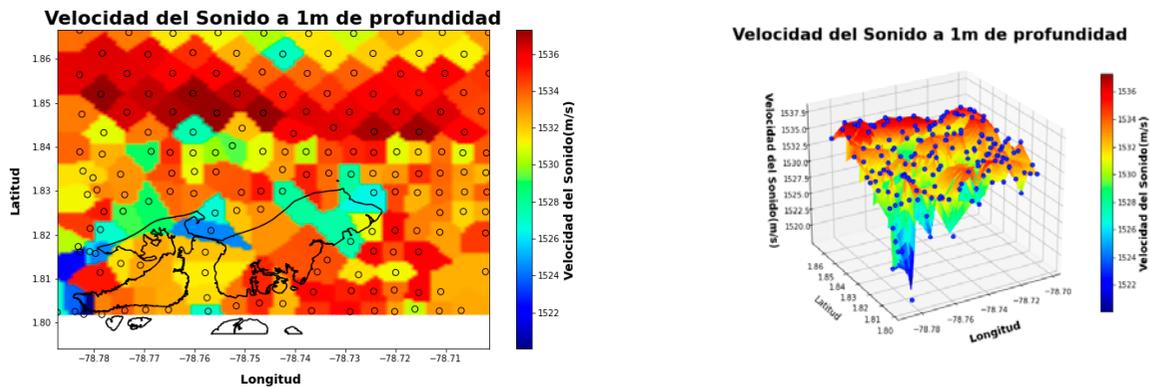
hizo una revisión geográfica de la zona, en la cual se identificaron algunas vertientes del río Mira que desembocan en el área de estudio (Fig. 9). Esta revisión permitió considerar una alteración en la salinidad, dado que la influencia o aportes de agua de río al océano disminuye la concentración de sal, lo que probablemente a su vez genere una disminución en los valores de velocidad del sonido en esta zona en particular. Por lo tanto, para la siguiente salida de campo se utilizó un equipo que proporcionara las variables ya relacionadas y la salinidad.



**Figura 9.** Desembocadura de río Mira en la bahía de Tumaco.

En abril de 2021 y a partir de los datos que se obtuvieron con el CTD se hicieron los mapeos a las mismas profundidades que para 2019. Para la capa a 1 m la velocidad del sonido presentó un descenso en el sector que previamente se había identificado en el 2019. El rango de variación a

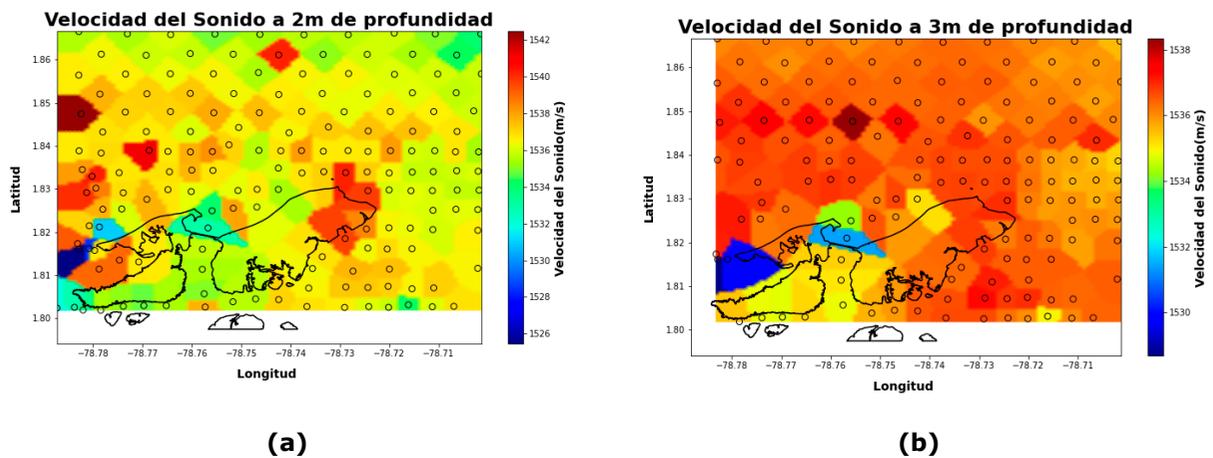
1 m fue de 24.32 m/s, más amplio con respecto al de 2019 a la misma profundidad. La coincidencia se dio al encontrar el valor mínimo de velocidad del sonido en la misma capa del 2021, el valor es 1518.51 m/s (Fig. 10).



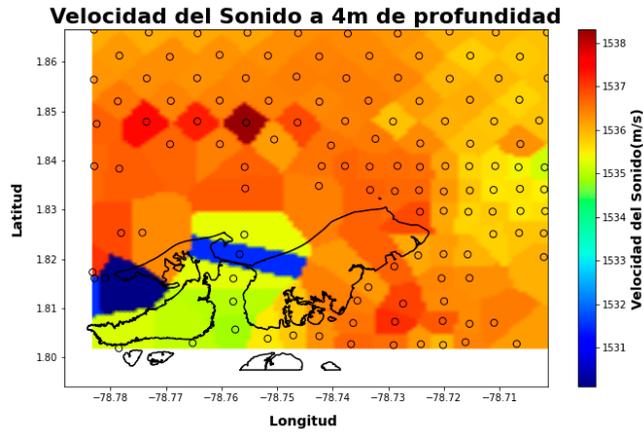
**Figura 10.** Velocidad del sonido en 2021 a 1 m **(a)** Representación 2D y **(b)** Representación 3D.

En el mapeo de velocidad del sonido para profundidades de 2 m, 3 m y 4 m se mantuvieron los valores mínimos de velocidad del sonido en la misma zona (figuras 11 y 12). Al comparar el comportamiento de velocidad del sonido para

2019 y 2021 en las mismas capas se observó una tendencia y correspondencia similar, los valores más bajos de velocidad del sonido corresponden al mismo sector.



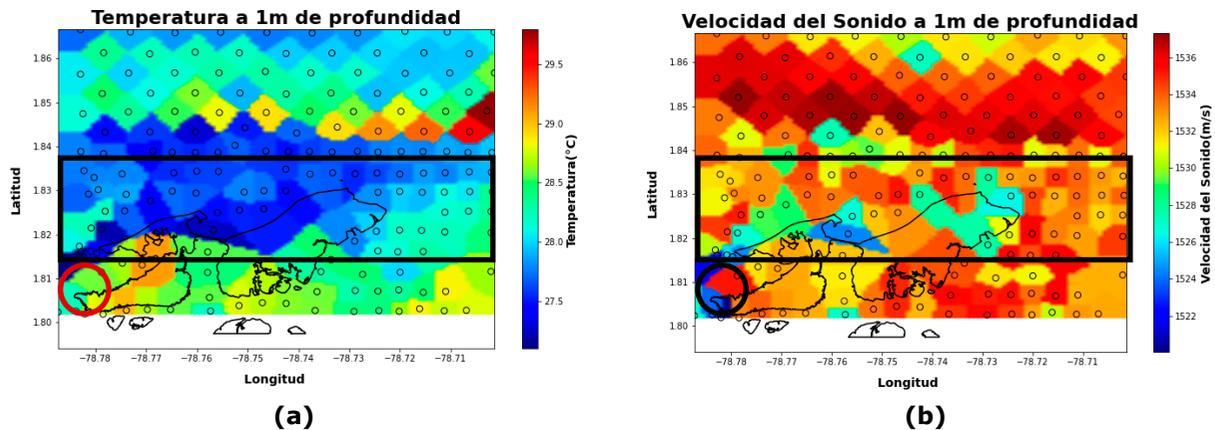
**Figura 11.** Velocidad del sonido 2021 **(a)** 2 m de profundidad y **(b)** 3 m de profundidad.



**Figura 12.** Velocidad del sonido 2021 a 4 m de profundidad.

Al relacionar las variables disponibles, los valores de temperatura para el 2021 variaron de 26.88 °C a 29.84 °C. Para la capa a 1 m se observó en la zona central una capa de agua homogénea y con los valores de temperatura más bajos con respecto a la totalidad del área de estudio (Fig. 13); al compararlos con los valores de velocidad del sonido en la misma capa se encontró una disminución de esta. También se encontró que en

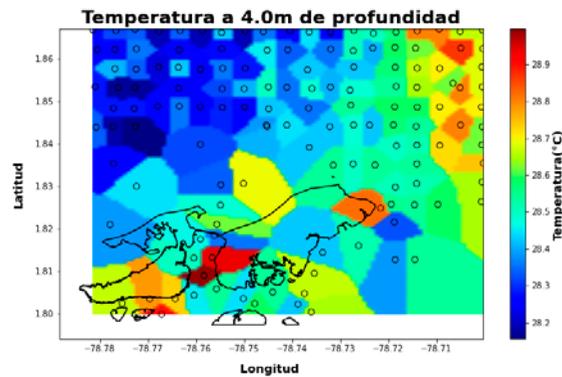
la zona identificada para 2019 (círculo rojo en la Fig. 13) se sigue presentando el comportamiento para el 2021; esta vez se conservan valores mínimos de temperatura y velocidad del sonido dentro de la zona, una relación no identificada en 2019. Sin embargo, el rango de variación de la velocidad del sonido es muy amplio con respecto a la brecha de temperatura.



**Figura 13.** Temperatura **(a)** y velocidad del sonido **(b)** en 2021 a 1 m de profundidad.

Al continuar con la observación para profundidades de 2 m, 3 m y 4 m (Fig. 14) se encontró que el descenso en los valores de velocidad del sonido tiene coincidencia con el

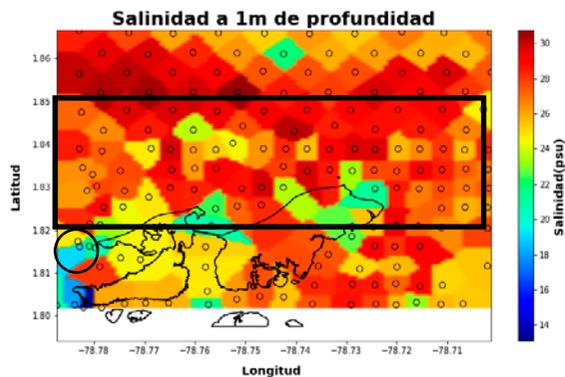
descenso de la temperatura en la zona identificada, pero no se mantiene correspondencia para el total de la zona de estudio.



**Figura 14.** Temperatura en 2021 a 4 m de profundidad.

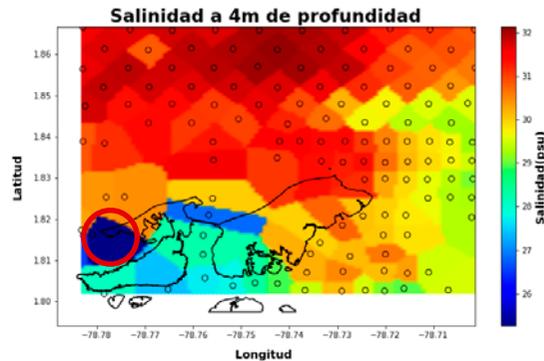
Adicional a los datos de temperatura para el 2021 se obtuvieron registros de salinidad, los cuales presentaron una variación entre 11.36 a 35.44 para todos los datos obtenidos. Esta variable cambió de manera significativa.

En la Fig. 15 se observó que a 1 m de profundidad la salinidad tuvo una variación significativa en una zona específica con un valor de 24.08. Además, al compararla con la velocidad del sonido a la misma profundidad (Fig. 13) se encontró el mínimo de salinidad en la misma zona, mostrando en los mapas una relación recíproca que permite señalar a la salinidad como la responsable principal de la variación de la velocidad del sonido en el área de estudio. En el 2021 se encontraron valores menores de velocidad del sonido respecto al 2019 y además una coincidencia en una capa de temperatura.



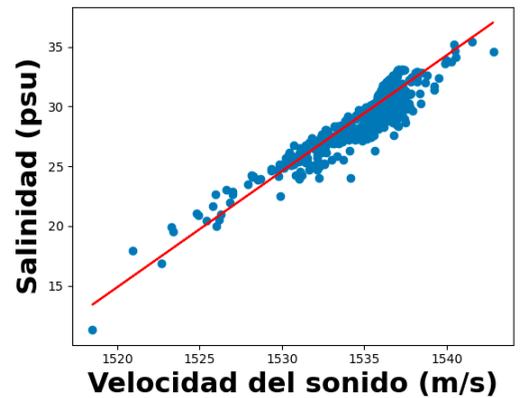
**Figura 15.** Salinidad en 2021 a 1 m de profundidad.

Al contrastar la información geográfica de la zona se observa el descenso de salinidad y velocidad del sonido (figuras 13 y 15) en la desembocadura del río Mira (Rodríguez, 2011). Para verificar que el comportamiento se mantiene en relación con la velocidad del sonido se revisaron las otras capas de salinidad (Fig. 16).



**Figura 16.** Salinidad en 2021 - 4 m de profundidad.

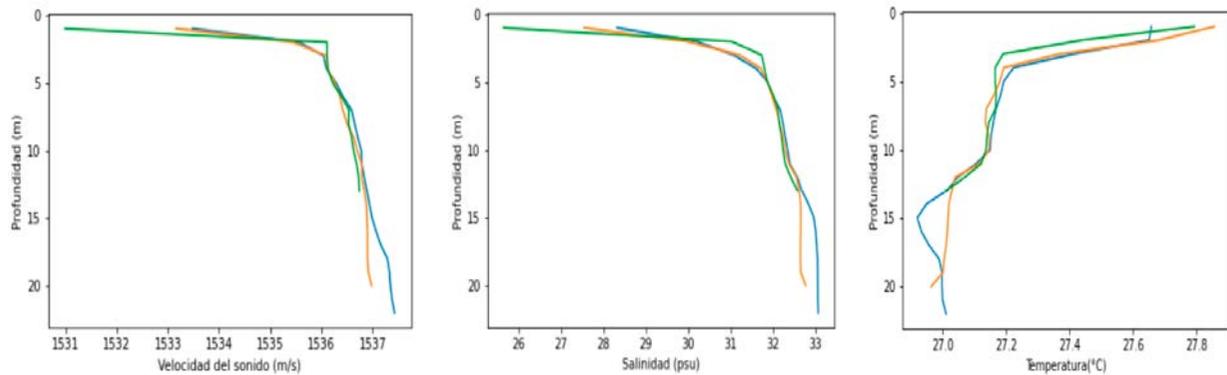
Teniendo en cuenta que los mapas de salinidad y velocidad del sonido tienen correspondencia, se calculó el coeficiente de correlación lineal de Pearson para identificar la dependencia de las dos variables. El valor obtenido fue 0.898, lo cual indica que el conjunto de datos se puede modelar con una regresión lineal. Al realizarla, se obtuvo un  $r^2 = 0.81$ , evidenciando la fuerte asociación entre el cambio de la velocidad del sonido y el gradiente de salinidad en la zona de estudio (Fig. 17).



**Figura 17.** Relación salinidad-velocidad del sonido en 2021.

Se evaluaron tres perfiles en la columna de agua de 2021 en los puntos de mayor profundidad (Fig. 18), a partir de los cuales se observó la relación directa de la velocidad del sonido con la salinidad. De esta manera se corrobora que la

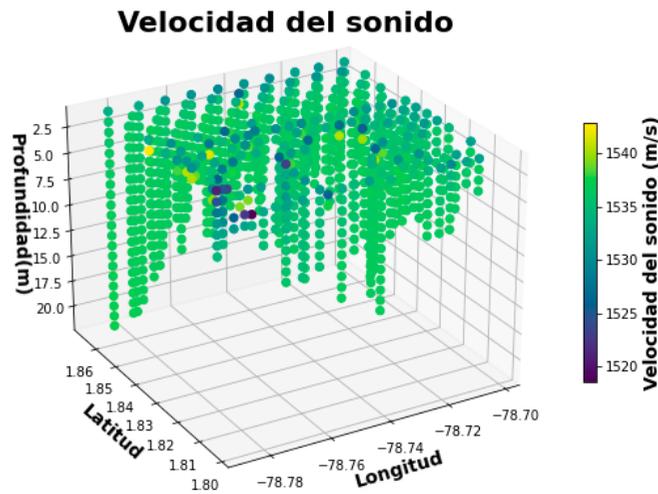
salinidad es la variable que tiene mayor influencia en el comportamiento de la velocidad del sonido en la zona de estudio. Por su parte, el rango de variación de temperatura se identificó muy estrecho.



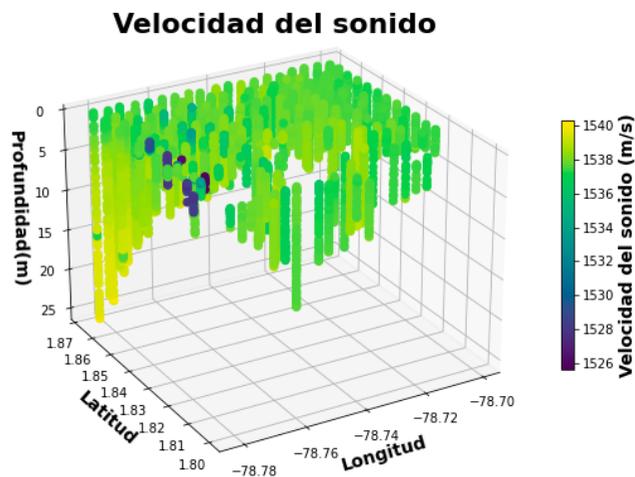
**Figura 18.** Perfiles de velocidad del sonido, salinidad y temperatura en 2021.

Finalmente, y para evaluar los rangos de variación en la vertical, se analizó el comportamiento de la velocidad del sonido en la columna de agua de las estaciones distribuidas en la zona de estudio. La salinidad y temperatura tienen variaciones espaciales y temporales (Ali *et al.*, 2011). En la zona de estudio se observó que la variación espacial corresponde a características

de la zona ya identificadas en el mapeo horizontal (Fig. 19 y Fig. 20), ya que la zona de estudio se caracteriza por ser un área costera bañada por ríos cortos, pero caudalosos, desembocaduras que configuran un ámbito de estuarios, esteros y bocanas que están sujetos a intercambio de corrientes marinas y fluviales (Rodríguez, 2011).



**Figura 19.** Distribución espacial-vertical de la velocidad del sonido en 2019.



**Figura 20.** Distribución espacial-vertical de la velocidad del sonido en 2021.

En el 2021 (Fig. 20) para el sector de mayores profundidades, un poco más alejadas de la costa, se encontró que la velocidad del sonido aumentó cuando se incrementa la temperatura, salinidad o profundidad en diferentes proporciones para las tres variables (Redondo y Ruiz, 2017).

Para 2019 se observó que los datos en la capa más superficial con respecto a los datos de 2021 son menos homogéneos, por lo que se considera

que una de las razones de dicha variación se debe a que para los días en que se realizó la salida de campo se registraron los valores máximos de temperatura de mayo (CCCP, 2019).

En la zona donde desemboca la vertiente del río Mira se encontraron los valores mínimos de velocidad del sonido para los datos del 2019 y 2021. Para abril 2021 se registraron precipitaciones de 313.6 ml, mayores en 63.1 mm

a los datos registrados para mayo de 2019 (CCCP, 2021). De acuerdo con Reyna *et al.* (2013), el aumento de precipitaciones tiene influencia en la concentración de sal donde desemboca vertiente del Río Mira, lo que podría explicar la diferencia entre los valores mínimos de velocidad del sonido de un año a otro.

Considerar los gradientes de velocidad del sonido en la zona permite obtener datos con mayor precisión en los levantamientos hidrográficos para conocer la geomorfología de suelo marino (Amoroso y Parente, 2021). Toda la información proporcionada por las dos salidas de campo permitió describir el comportamiento de la velocidad del sonido y la relación con la salinidad y temperatura en la bahía de Tumaco, insumos útiles tanto para la hidrografía, modelación oceanográfica, climatológica y biológica, entre otras áreas.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten identificar un valor representativo de velocidad del sonido para una época húmeda de 1537.44 m/s para el 2019 y de 1536.75 m/s para el 2021 en la zona evaluada.

Los valores mínimos de velocidad del sonido para 2019 y 2021 son de 1526.6 m/s y 1518.5 m/s, respectivamente, se ubican en la capa de 1 m de profundidad, cambios asociados a la vertiente del río Mira, vinculados a los cambios de concentración de salinidad.

Se identificaron zonas con mayor variabilidad de la velocidad del sonido en sectores específicos del área de estudio. Esto constituye un aporte relevante y necesario para mejorar la precisión en los datos entregados en las campañas de levantamientos hidrográficos, que son insumo para la cartografía náutica nacional, la seguridad marítima y la investigación hidrográfica en el Pacífico colombiano. Se reconoce la importancia de continuar con las investigaciones que permitan comprobar estos resultados con equipos doblemente calibrados o intercalibrados.

El software diseñado constituye un aporte potencial a la hidrografía, ya que procesa, depura e integra la información de perfiles de velocidad del sonido y posicionamiento de los blancos donde

fueron medidos y genera salidas gráficas en 2D y 3D de las variables involucradas en la variación vertical y horizontal de la velocidad del sonido en la columna de agua.

## RECOMENDACIONES

Realizar este estudio sobre la bahía de Tumaco en época seca para observar y describir el comportamiento de la velocidad del sonido asociada a la variabilidad estacional de las condiciones climáticas y dinámica fluvial de la zona.

Generar una base de datos con todos los perfiles de velocidad del sonido obtenidos hasta la fecha sobre la bahía de Tumaco.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, M. M.; Sakira, J.; Radhika, R. (2011). Effect of temperature and salinity on sound speed in the Central Arabian Sea. *The Open Ocean Engineering Journal*, 4(1).
- Amoroso, P. P.; Parente, C. (2021). The importance of sound velocity determination for bathymetric survey. *ACTA IMEKO* 10(4):46-53. [https://doi.org/10.21014/acta\\_imeko.v10i4.1120](https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v10i4.1120)
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. (30 de mayo de 2019). Boletines Meteomarineros. CCCP. Recuperado de: [https://cecoldodigital.dimar.mil.co/2445/3/dimarcccp\\_2339-4080\\_2019\\_bol\\_meteor Marino\\_pacifico\\_77.pdf](https://cecoldodigital.dimar.mil.co/2445/3/dimarcccp_2339-4080_2019_bol_meteor Marino_pacifico_77.pdf)
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. (30 de abril de 2021). Boletines Meteomarineros. CCCP. Recuperado de: [https://cecoldodigital.dimar.mil.co/2791/1/dimarcioh\\_2339-4080\\_2021\\_bol\\_meteor Marino\\_pacifico\\_100.pdf](https://cecoldodigital.dimar.mil.co/2791/1/dimarcioh_2339-4080_2021_bol_meteor Marino_pacifico_100.pdf)
- HYPACK. (2019). HYPACK (Version 19.0.11.0) Xylem. Recuperado de <https://www.hypack.com/>
- Jin, S.; Sun, W.; Bao, J.; Liu, M.; Cui, Y. (2015). *Sound velocity profile (SVP) inversion through correcting the terrain distortion*. International Hydrographic review.
- Millán, E.; Bejarano, J. (1994). Pacífico colombiano, condiciones termohalinas y estandarización

- de la curva T-S. *Bol. Cient. CIOH*, 15: 3-13. <https://doi.org/10.26640/22159045.72>
- Mohammadloo, T. H.; Snellen, M.; Renoud, W.; Simons, D. G.; Beaudoin, J. (2019). *Correcting Multibeam Echosounder Bathymetric Measurements for Errors Induced by Inaccurate Water Column Sound Speeds*. *IEEE Access* 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2936170>
- Navas, M. A.; Forero, O. F.; Gutiérrez, G. A.; Rivera, C. J.; Certain, M.; Acevedo, A.; Bolívar, D. F. (2017). *País de Mares* No. 3. Colombia. Cecoldo. Recuperado de: <https://cecoldodigital.dimar.mil.co/2391/>
- Orozco-Villegas, U. (2020). *Variabilidad estacional de la profundidad de la capa de mezcla en la Cuenca del Pacífico Colombiano*. Corporación Académica Ambiental, Universidad de Antioquia.
- Pabón, J. D.; Eslava, J. A.; Gómez, R. E. (2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorología Colombiana* 4: 47-59.
- Peyton, D. R.; Beaudoin, J.; Lamplugh, M. (2009). Optimizing Sound Speed Profiling for Hydrographic Surveys. *International Hydrographic Review*.
- Redondo, L.; Ruiz, A. (2017). Ruido subacuático: fundamentos, fuentes, cálculo y umbrales de contaminación ambiental. *Ingeniería Civil* 186: 73-94.
- Remiro, A. (2019). *Técnicas aplicadas a la propagación del sonido en el medio marino*. Universidad Politécnica de Valencia: Tesis de pregrado no publicada.
- Reyna; J. A.; Devis, A.; Cantera, J. R.; Cárdenas, E.; Cabrales, E., Lozano, J.; Montealegre, J.; Ramírez del Castillo, A.; Rojas, O.; Pardo, Z. (2013). *El océano maravilla terrestre*. Bogotá: Comisión Colombiana del Océano.
- Rodríguez, D. E. (2011). Distribución de Enterococos como indicadores de contaminación fecal en aguas de la bahía de Tumaco, Pacífico Colombiano. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*; 50(2): 136-148.
- SEA-BIRD SCIENTIFIC. (2022). Recuperado de: [https://www.seabird.com/sbe-19plus-v2-seacat-profiler-ctd/product-downloads?id=60761421596/DataSheets/SBE-19plus\\_Scientific\\_Moored\\_CTD\\_Product](https://www.seabird.com/sbe-19plus-v2-seacat-profiler-ctd/product-downloads?id=60761421596/DataSheets/SBE-19plus_Scientific_Moored_CTD_Product)
- TELEDYNE. (2022). Recuperado de: <http://www.teledynemarine.com/Lists/Downloads/user-manual-Digibar-S.pdf>