

## **Aspectos físicos del agua de mar entre las islas de Providencia y Cayo Bajo Nuevo durante la época de lluvias de 2016**

### *Physical aspects of seawater between Providence and Cayo Bajo Nuevo Islands during the rainy season of 2016*

DOI: 10.26640/22159045.428

Fecha de recepción: 2017-02-10 / Fecha de aceptación: 2017-05-03

**Julio César Monroy Silvera\* y Andrés Mauricio Zambrano\*\***

**Monroy Silvera, J. y Zambrano, A. (2017).** *Aspectos físicos del agua de mar entre las islas de Providencia y Cayo Bajo Nuevo durante la época de lluvias de 2016.* Bol. Cient. CIOH (35):3-12. ISSN 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI: 10.26640/22159045.428

#### **RESUMEN**

Son presentados los parámetros físicos más relevantes del agua de mar en un área del Archipiélago de San Andrés y Providencia, entre la isla de Providencia y la isla Cayo Bajo Nuevo, Colombia. Se llevaron a cabo siete estaciones oceanográficas entre el 19 y 21 de septiembre de 2016, recolectando información de CTD hasta una profundidad máxima de 1000 metros. Con esta información se obtuvieron los perfiles de temperatura, salinidad y densidad, así como la distribución vertical de las mismas variables a lo largo de todo el transecto. Se realizó una descripción general de estos parámetros, identificando unos altos valores de salinidad superiores a 37 en todas las estaciones hasta un máximo de 37.11, para la masa de agua subsuperficial subtropical del Atlántico Norte (NASTU) a 150 metros de profundidad aproximadamente y un valor de salinidad elevado para el mar Caribe Occidental que aparentemente se ha mantenido en la última década.

**PALABRAS CLAVE:** San Andrés, Providencia, Bajo Nuevo, Mar Caribe, Oceanografía Física.

#### **ABSTRACT**

*The most important physical parameters of seawater are presented for an area within the San Andres and Providencia archipelago, between Providencia Island and Cayo Bajo Nuevo island, Colombia. Seven oceanographic stations were sampled from September 19<sup>th</sup> through September 21<sup>st</sup>, 2016, collecting CTD data up to a maximum depth of 1000 meters. With the collected data, temperature, salinity and density profiles were obtained, as well as the vertical distribution for the same variables along the entire transect. A general description of this parameters was made, identifying high salinity values greater than 37 in all stations up to a maximum of 37.11, for the North Atlantic subtropical underwater water mass (NASTU) at a depth of 150 m approximately, an elevated value for the Western Caribbean Sea that apparently has been present in the last decade.*

**KEYWORDS:** San Andres, Providencia, Bajo Nuevo, Caribbean Sea, Physical Oceanography.

\* Segundo Comandante de buque oceanográfico ARC "Malpelo", Correo: julio.monroy@armada.mil.co

\*\* Capitán de Puerto de Buenaventura. Coreo: andres.zambrano@armada.mil.co

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha sido del mayor interés nacional el estudio del archipiélago de San Andrés y Providencia al detalle, incluyendo las islas menores y cayos. Ejemplo actual de esto es el cumplimiento del Plan de Cartografía Náutica Nacional de la Dirección General Marítima, que está siendo actualizado en 2016 con el empleo de las modernas ecosondas multihaz que poseen los buques oceanográficos ARC Malpelo y ARC Providencia, complementados con levantamientos batimétricos de aguas someras con ecosondas monohaz, obteniendo un conocimiento muy completo de la geomorfología de los fondos marinos y generando cartas náuticas de mejor calidad para la seguridad de la vida humana en el mar cerca a este territorio. En complemento a la cartografía náutica, la caracterización oceanográfica del archipiélago de San Andrés y Providencia juega un papel importante en el conocimiento más profundo de nuestros espacios marítimos.

La actividad interinstitucional en Colombia ha permitido el desarrollo de la investigación y manejo en el archipiélago desde su particularidad insular, permitiendo el avance de la gestión, siempre orientada a la preservación de esta importante área para el mundo (Comisión Colombiana del Océano, 2015).

El estado del arte referente a la descripción de los aspectos físicos del mar en el área de estudio, está conformado principalmente por las investigaciones publicadas por González (1987), Garay *et al.*, (1988); Andrade, Giraldo y Lonin (1996), Andrade y Barton (2000), Andrade (2001), Molares, Vanegas, Bustamante y Andrade (2004) y Andrade (2009), entre otras publicaciones nacionales e internacionales; que si bien algunas no describen exclusivamente el área del Archipiélago de San Andrés y Providencia, hacen referencia a su participación en la dinámica oceanográfica del mar Caribe occidental.

La plataforma insular del Archipiélago de San Andrés y Providencia es la continuación geológica y geomorfológica de la gran plataforma continental centroamericana, pero no hace parte de ella (Molares *et al.*, 2004). Las islas, bajos y cayos que conforman el archipiélago y la elevación centroamericana, cierran la denominada "cuenca

de Colombia", separándola del mar Caimán (Andrade, 2009).

Dados sus parámetros oceánicos, las aguas del Archipiélago de San Andrés y Providencia son catalogadas como las de un mar cálido estratificado, pobre en nutrientes, con un fitoplancton variado, pero de biomasa baja (Márquez, 1987). La estratificación ha propiciado un ecosistema pelágico estable de baja fertilidad, aunque con alteraciones locales debidas a la presencia de eddies (Andrade *et al.*, 1996).

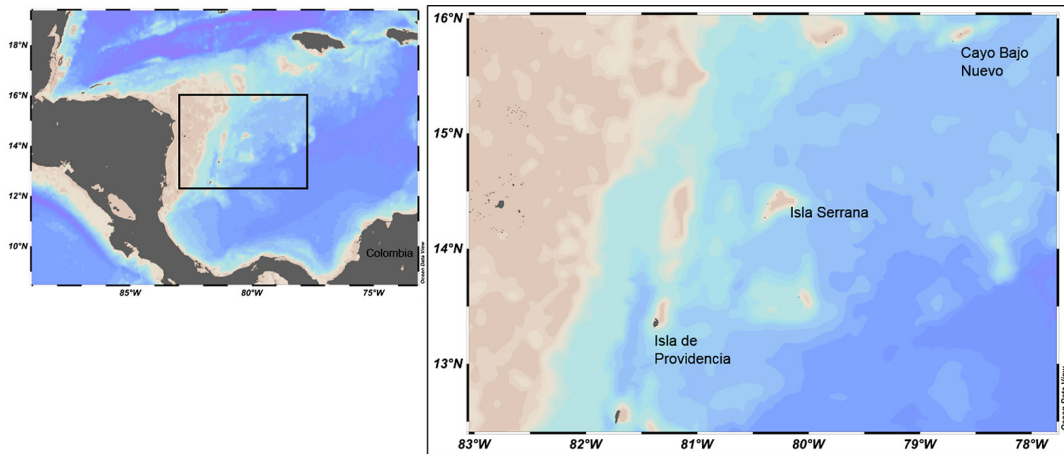
Los estudios sugieren que las investigaciones en el campo de la oceanografía en el área del archipiélago de San Andrés, aún son escasas y es necesario fortalecer los programas de investigación oceanográficos y permitir el desarrollo de fases adicionales de los que ya están en marcha, asegurando su continuidad con el propósito de generar una completa información acerca de los procesos marinos en las distintas zonas del archipiélago (CCO, 2015).

Dada su alta importancia, el área del archipiélago de San Andrés y Providencia es actualmente un gran foco de conocimiento para las instituciones de investigación científica marina de Colombia; así como también para la Autoridad Marítima Colombiana, donde se han concentrado grandes esfuerzos en los últimos años como las expediciones científicas Seaflower lideradas por la Comisión Colombiana del Océano. Esta investigación busca seguir aportando a ese conocimiento, aprovechando los recursos disponibles durante las campañas que realizan los buques oceanográficos de la Dimar al Departamento Archipiélago.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra localizada al interior del Archipiélago de San Andrés y Providencia, un conjunto de islas que hacen parte de la zona noroccidental de la cuenca de Colombia en el mar Caribe, ocupando un área aproximada de 180 000 km<sup>2</sup>.

El área de interés (Figura 1) se estableció entre la isla de Providencia, ubicada a 60 millas náuticas al norte de la Isla de San Andrés y la Isla Cayo Bajo Nuevo, en el extremo nororiental del Archipiélago, al sur del Bajo Pedro (Jamaica).

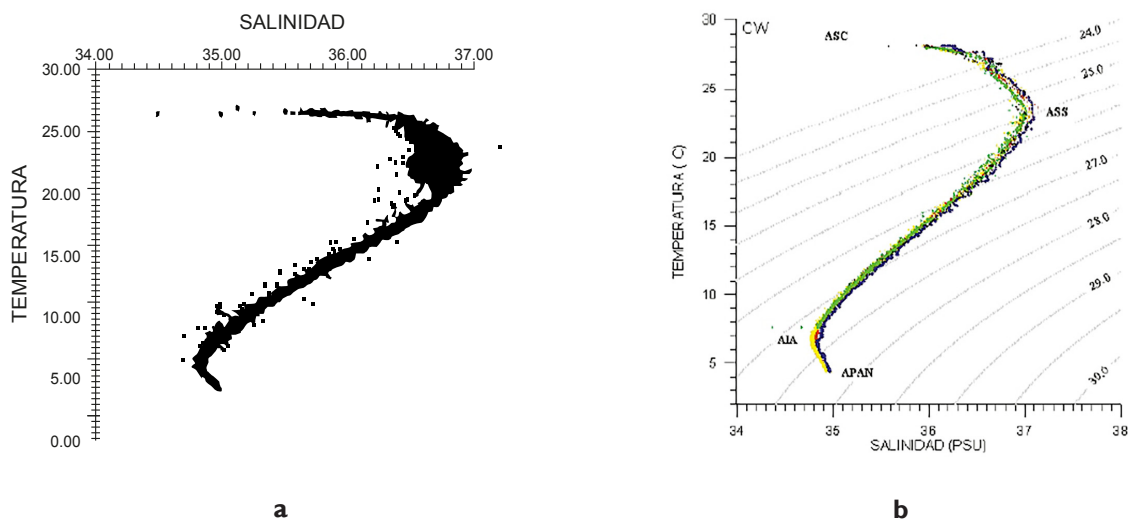


**Figura 1.** Área de estudio.

Las características de todas las plataformas del archipiélago son similares: un talud fuerte que emerge de profundidades promedio de 1500 metros, arrecifes y arenas coralinas (Dainco, 1980). Andrade *et al.*, (1996) describe las islas, cayos y bajos como de origen y conformación volcánica. La plataforma insular es independiente de la continental centroamericana, separada de esta por profundidades de hasta 2400 m en la depresión de Providencia, por lo cual todo este complejo de islas se considera oceánico.

Para el área del Archipiélago de San Andrés y Providencia, se ha podido establecer en

trabajos anteriores (González, 1987; Garay *et al.*, 1988; Andrade *et al.*, 1996; Molares *et al.*, 2004), la presencia de cuatro masas de agua (Figura 2); la primera superficial (Caribbean Surface Water–CSW) hasta los 50 m de profundidad; la segunda con características de agua subsuperficial subtropical (North Atlantic Subtropical Underwater–NASTU) entre 50 y 200 m; una masa de agua intermedia antártica (Antarctic Intermediate Water–AIW) entre los 200 y 1000 m y por último, aguas profundas del Atlántico (North Atlantic Deep Water–NADW) por debajo de los 1000 m de profundidad.

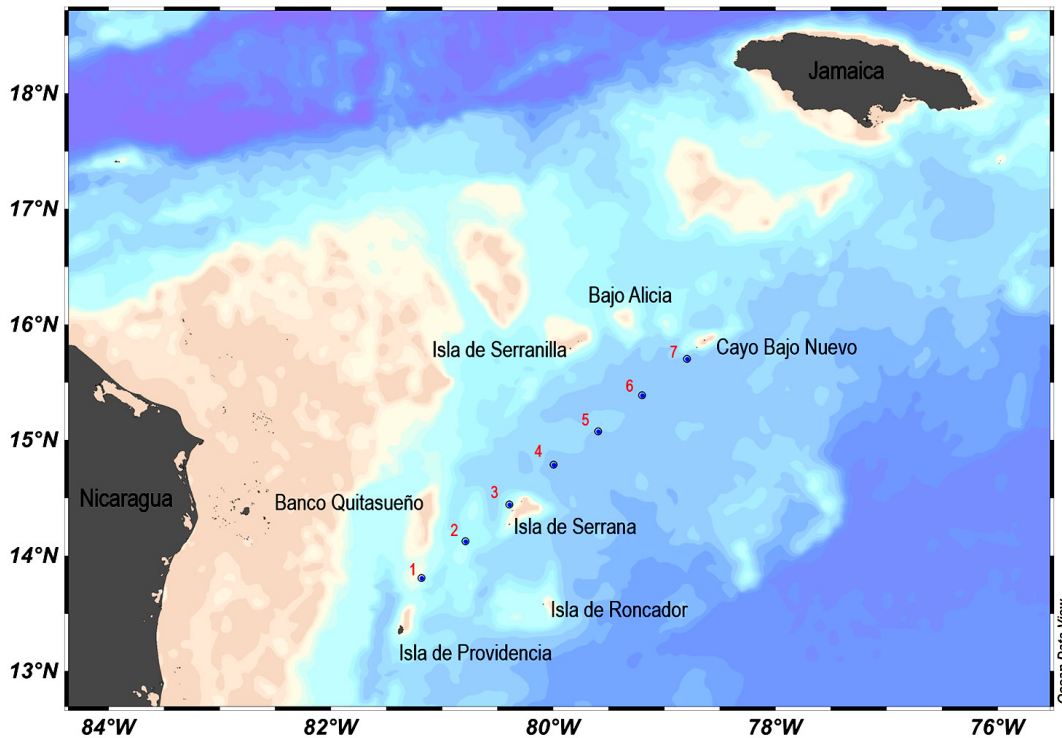


**Figura 2.** Curvas T-S característica para el área de estudio: a) Curva T-S para el área de Bajo Alicia en febrero de 1996 (Andrade *et al.*, 1996). b) Curva T-S para el área de la Depresión de Providencia para mayo-junio de 2004 (Molares *et al.*, 2004).

## METODOLOGÍA

A bordo del buque oceanográfico ARC Malpelo se desarrolló el crucero SAI-II a partir del 15 de septiembre de 2016, el cual tuvo como misión principal realizar el levantamiento batimétrico del

área de la isla Cayo Bajo Nuevo e Isla Serranilla, en el Archipiélago de San Andrés y Providencia. Durante el recorrido que efectuó la plataforma oceanográfica, se realizaron siete estaciones de CTD con una separación de 30 millas náuticas (56 km) entre ellas (Figura 3).



**Figura 3.** Estaciones de CTD en el área de estudio.

Estas estaciones se establecieron de forma equidistante y lo suficientemente separadas con el fin de observar cualquier cambio en las variables físicas medidas, permitiendo identificar diversas características del agua de mar en el área.

Para la toma de datos se utilizó un SVP/CTD Valeport Midas SVX2 y los equipos de cubierta de la plataforma de investigación ARC Malpelo. La profundidad máxima de muestreo fue de 1000 m. Las gráficas de perfiles y transectos fueron obtenidas con el software Ocean Data View.

Igualmente, se registraron las condiciones meteorológicas y de estado del mar en cada estación, utilizando una estación meteorológica Kestrel 5500 y observaciones sobre cubierta.

## RESULTADOS

Los parámetros meteorológicos tenidos en cuenta durante la toma de los datos en cada estación corresponden a las características de la época húmeda principal (septiembre-noviembre) para la cuenca de Colombia (Bernal, 2010). El promedio de la temperatura del aire entre el 19 y el 21 de septiembre de 2016, fue de 28.8°C y la presión atmosférica observada estuvo ubicada entre los 1009 hasta los 1012 milibares (Tabla 1). Las estaciones fueron hechas en orden ascendente partiendo desde el norte de la isla de Providencia (Estación 1) hasta cercanías a la isla Cayo Bajo Nuevo (Estación 7).

**Tabla 1.** Datos generales de las estaciones oceanográficas realizadas.

No. de estación	Prof. (m)	Prof. perfiles (db)	Estado mar	Viento		Oleaje			Tiempo Atmosférico		
				DIR (°)	VEL (knt)	DIR (°)	ALT (m)	T (s)	TEMP (°C)	HUM. R (%)	P. ATM (mbar)
1	720	400	1	090	10.4	230	0.5	4	29	79	1011
2	1098	1000	1	077	7.8	240	0.4	5	28.5	81	1010
3	1486	1000	1	116	12	225	0.5	4	28	78	1012
4	2085	650	1	100	11	290	0.5	5	29.5	79	1009
5	2087	900	1	085	16	290	0.7	5	29	65	1011
6	2286	1000	2	095	11	300	0.7	5	29	70	1009*
7	2255	1000	2	089	11	250	0.7	5	29	76	1011

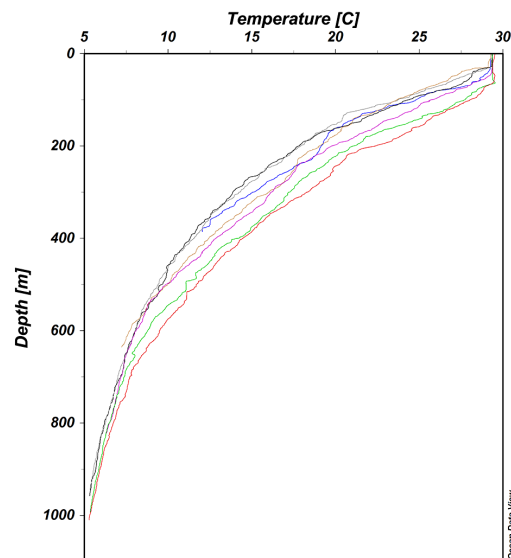
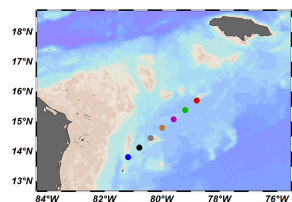
\* Se presentó lluvia ligera en la estación.

Se obtuvieron perfiles de temperatura, salinidad y densidad, así como también cortes transversales de las mismas variables en todo el trayecto, los cuales se describen a continuación.

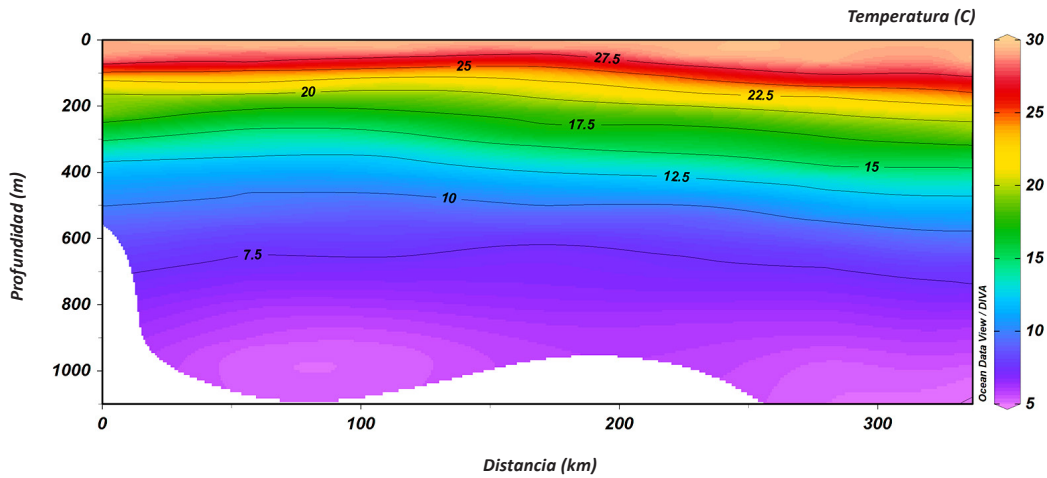
### Temperatura

La temperatura de la capa más próxima a la superficie del mar para todas las estaciones se ubicó alrededor de los 29.3°C. Se pudo observar que en las estaciones 1 a 4, la capa de mezcla se encuentra hasta una profundidad máxima de 35 metros (figuras 4 y 5). En las

estaciones más cercanas a Cayo Bajo Nuevo (5, 6 y 7) se pudo apreciar una profundización de la capa de mezcla, llegando hasta los 65 m. La extensión de la termoclina se consideró desde la temperatura de la capa de mezcla hasta los 10°C (Coralina-Invemar, 2012), encontrando que esta se ubicó para las estaciones 1 y 2 hasta los 460 m de profundidad, descendiendo en cercanías a Cayo Bajo Nuevo, observando para las estaciones 4 y 5 termoclina hasta los 500 m, y para las estaciones 6 y 7 un límite inferior de 570 m. A partir del final de la termoclina la temperatura desciende hasta un mínimo de 5.3°C.



**Figura 4.** Perfiles de temperatura para las siete estaciones oceanográficas. Cada color corresponde a una estación del mapa de la esquina inferior izquierda.

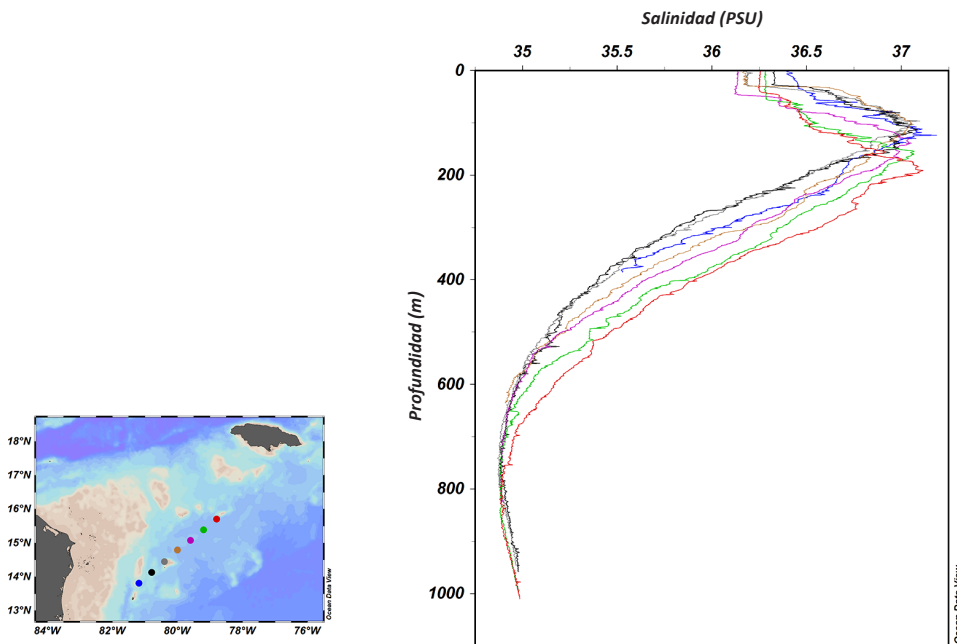


**Figura 5.** Sección transversal de temperatura para el área de estudio.

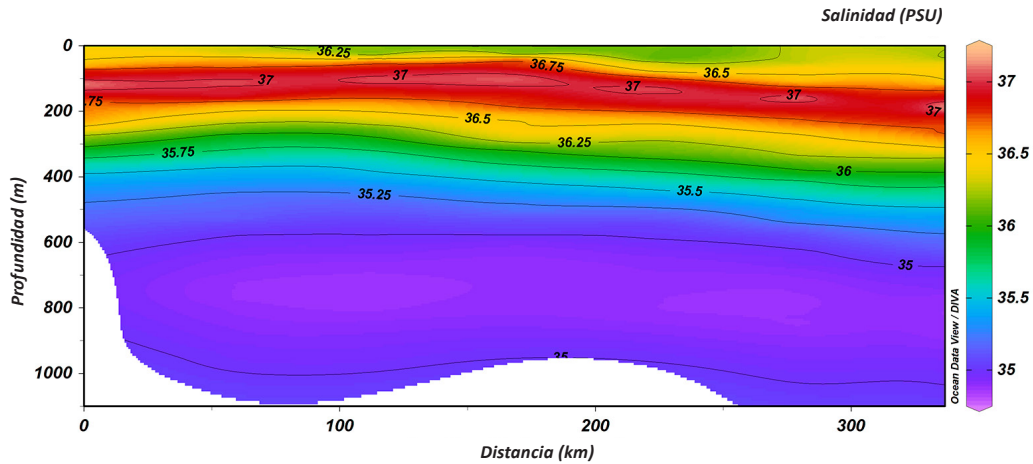
### Salinidad

Cerca de la superficie del mar, la salinidad observada estuvo entre los valores 36.14 y 36.4. Los valores máximos de salinidad registrados en la vertical para todas las estaciones correspondieron al intervalo entre 37 y 37.11, ubicándose esta salinidad en

profundidades cada vez mayores conforme al orden ascendente de las estaciones; siendo su profundidad en la primera estación 124 m y en la séptima estación 192 m. La salinidad mínima obtenida fue 34.8 en profundidades que varían entre los 700 y 800 metros, y a partir de estas profundidades la salinidad no superó los 34.9 (figuras 6 y 7).



**Figura 6.** Perfiles de salinidad para las siete estaciones oceanográficas. Cada color corresponde a una estación del mapa de la esquina inferior izquierda.

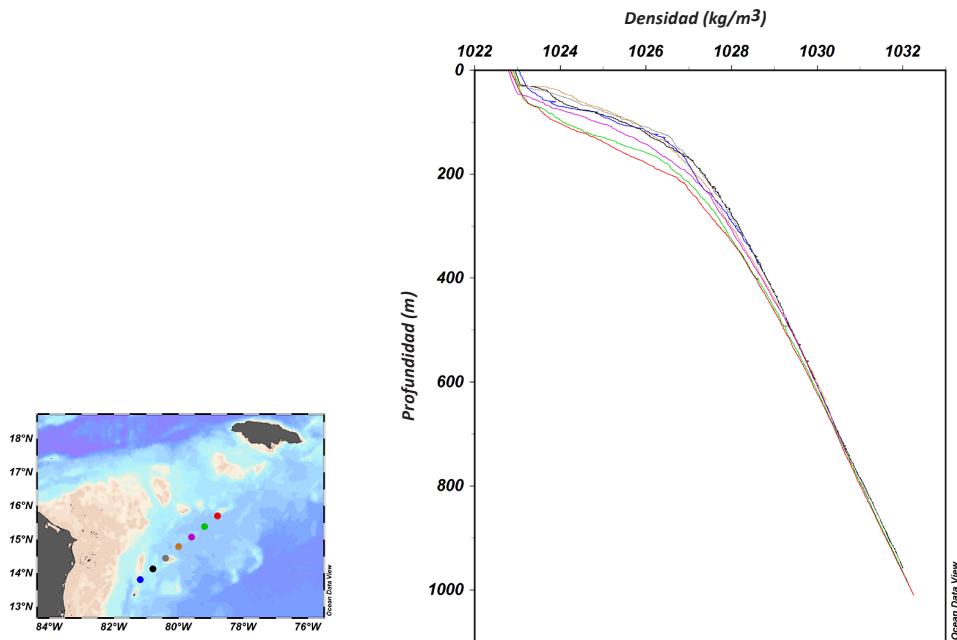


**Figura 7.** Sección transversal de salinidad para el área de estudio.

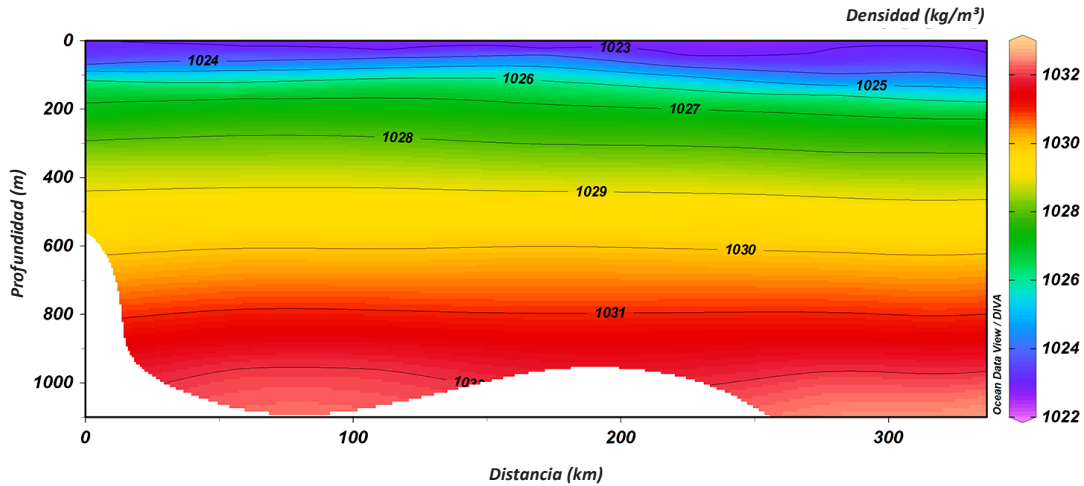
### Densidad

Los valores de densidad próximos a la superficie de todos los perfiles coincidieron en cercanía a los  $1022.9 \text{ kg/m}^3$ . La densidad aumentó en forma significativa en todos los perfiles hasta los  $1027 \text{ kg/m}^3$ , donde podría considerarse el límite inferior de la pycnoclina, que en profundidad varió

entre 180 m en la primera estación descendiendo proporcionalmente hasta los 230 m en la última. A partir de estas profundidades la variación de la densidad en la vertical fue menor, coincidiendo todos los perfiles cerca a los 630 m de profundidad, donde el valor de la densidad fue  $1030 \text{ kg/m}^3$  y continuó un suave incremento hasta el final de la profundidad de muestreo (figuras 8 y 9).



**Figura 8.** Perfiles de densidad para las siete estaciones oceanográficas. Cada color corresponde a una estación del mapa de la esquina inferior izquierda.



**Figura 9.** Sección transversal de densidad para el área de estudio.

## DISCUSIÓN

Las observaciones de la temperatura en la vertical corresponden al comportamiento típico de este perfil para la época de lluvias, de acuerdo con la media estacional calculada en el Atlas de los Datos Oceanográficos de Colombia 1922 - 2013 (Andrade *et al.*, 2015).

Las variaciones de profundidad en la capa de mezcla, pueden estar influenciadas por dos procesos: flujos de calor y turbulencia producida por la velocidad del viento y las rompientes de las olas (Stewart, 2008). En este caso, los registros de velocidad del viento estuvieron dentro de un rango desde 7.8 a 16 nudos, y la altura de la ola no llegó a un metro durante los días de la toma de datos (Tabla 1). Se puede deducir que los flujos de calor fueron importantes para la formación de la capa de mezcla observada; sin embargo, en las estaciones 5, 6 y 7 se observó la profundización de esta capa, correspondiente también con un ligero aumento del viento (16 nudos en la estación 5) y de oleaje (hasta 0.7 m en las tres estaciones), factores que en las anteriores estaciones se habían mantenido por debajo de 12 nudos y 0.5 m, respectivamente.

En cuanto a la salinidad, los valores registrados fueron superiores al promedio anual señalado por el NOAA World Ocean Atlas (WOA) 2013 (Zweng *et al.*, 2013) para el área de estudio entre los 0 y 400 m de profundidad (36.8) y

a partir de allí, hasta los 1000 m se presentó un comportamiento similar a lo descrito en el WOA. Del mismo modo, los valores medios para la época húmeda principal (trimestre SON) en el área de estudio, calculados en el Atlas de Datos Oceanográficos de Colombia (Andrade *et al.*, 2015), a partir de cruceros oceanográficos se encuentran alrededor de 36.6, por debajo de los valores medidos en la presente campaña. Estas lecturas dan cuenta de la presencia de las Aguas Subsuperficiales Subtropicales del Atlántico Norte (NASTU) para el área de estudio, alrededor de los 150 m de profundidad; sin embargo, la alta salinidad medida ( $\sim 37.1$ ) para estas aguas, podría estar indicando una proporción mucho mayor de la NASTU en la mezcla con las aguas del Atlántico Sur que ingresan al Caribe por las Antillas menores (menos salinas); proporción de mezcla que según Andrade (2009) oscilaría con el tiempo, por lo cual se podría estar todavía en presencia de un extremo superior del ciclo propuesto por el mismo investigador.

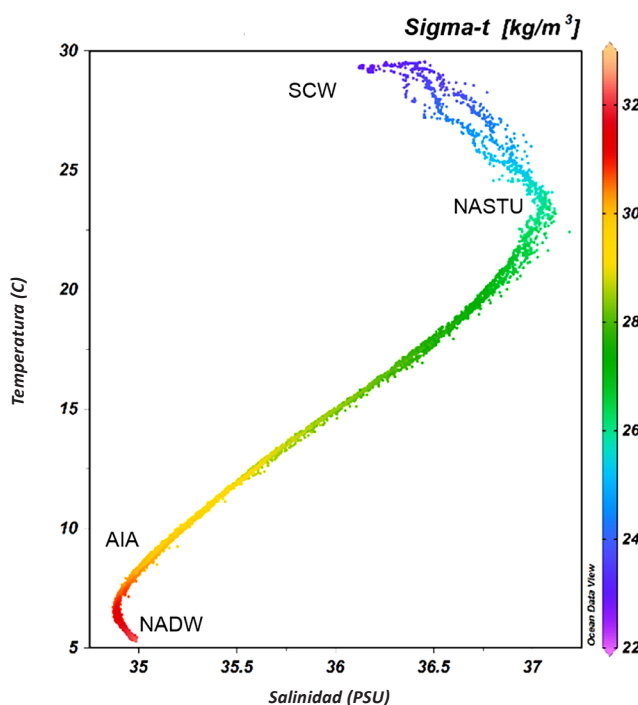
En la Figura 9 se pueden observar unas curvaturas mostrada por las isopiecas de 1024 a 1026  $\text{kg/m}^3$  entre los 80 y 200 metros de profundidad; esto puede ser un indicador de que para el momento del muestreo, cerca de la estación No. 4 (noroeste de Isla Serrana), se podría estar presentando un fenómeno que genera una anomalía en la topografía dinámica del área, más puntualmente un evento de circulación de



mesoescala (eddy) que durante la época húmeda son comunes en el área del Archipiélago de San Andrés y Providencia (Andrade y Barton, 2000). Para determinar esto con veracidad, es necesario el cálculo de corrientes geostroficas y/o validación con datos satelitales de altimetría para los días del muestreo, lo cual no estuvo dentro del alcance de la presente investigación.

En concordancia con Andrade *et al.* (1996) y Molares *et al.*, (2004), se identificaron las cuatro masas de agua (CSW, NASTU, AIW y NADW) descritas anteriormente en el área de estudio

(Figura 10). Es destacada la fuerte presencia de la NASTU con valores de salinidad por encima de 37 alrededor de los 150 m de profundidad, teniendo en cuenta que la climatología regional muestra valores inferiores (Molares *et al.*, 2004). Estos altos valores de salinidad para la NASTU concuerdan con las lecturas encontradas sobre los 66° W en latitudes entre 14° N y Puerto Rico (17° N) por Hernández-Guerra y Joyce (2000), por lo cual se podría deducir un aumento de la influencia de la NASTU hacia las aguas más occidentales de la Cuenca de Colombia (81° W para el presente caso).



**Figura 10.** Curva T-S a partir de los perfiles de CTD obtenidos.

Es de gran relevancia continuar con muestreos sistemáticos de los aspectos oceanográficos del área del archipiélago de San Andrés y Providencia, para poder tener un claro conocimiento de las condiciones generales que afectan a este ambiente marino de gran riqueza natural para el país.

Muy importante dentro de estos futuros estudios es tener en cuenta la observación de la salinidad en las profundidades alrededor de los 150 m de profundidad, con el fin de continuar monitoreando la influencia de la NASTU en zonas del mar Caribe alejadas de la cuenca del Atlántico Norte.

## CONCLUSIONES

Las características físicas observadas en el agua de mar del área entre Isla Providencia y Cayo Bajo Nuevo, son las usuales para la época húmeda en el mar Caribe, enmarcada dentro de la provincia físicoquímica del Caribe Interior, por sus condiciones generales de aguas cálidas con alta salinidad y una alta claridad del agua (Chollett, Mumby, Müller-Krager y Hu, 2012).

Es de resaltar que las mediciones de salinidad en todas las estaciones justo debajo de los

100 m de profundidad, superan el valor de 37 y en algunas superaron los 37.1; valores que contrastan con los obtenidos antes de la década de los noventa por las campañas oceanográficas realizadas en el área, donde no se registraban valores superiores a 36.85 (Andrade, 2009). Esto indica una presencia más fuerte, por lo menos en la época húmeda SON, de las aguas subsuperficiales subtropicales del Atlántico norte, dejando en evidencia a su vez, la ausencia de la Masa de Agua del Caribe que se había establecido como la resultante de la mezcla del Agua Central del Atlántico sur (menos salinas por la presencia de aguas de los ríos amazónicos, Orinoco, etc.) y la NASTU (Molares *et al.*, 2004).

## REFERENCIAS

- Andrade, C., L. Giraldo y S. Lonin. (1996). Nota sobre la circulación de las aguas en el Bajo Alicia y el sector de San Andrés. *Boletín Científico CIOH*, No. 17. pp 27 – 36.
- Andrade, C. y E. Barton. (2000). Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research*, No. 105. pp 191 – 201.
- Andrade, C. (2001). Las Corrientes superficiales en la cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. 25, No. 96. pp 321 – 335.
- \_\_\_\_\_. (2009). Variaciones temporales termohalinas en la Cuenca Colombia. *Boletín Científico CIOH* No.27. pp 8 – 21.
- Andrade C., O. Rangel, y E. Herrera. (2015). Atlas de los datos oceanográficos de Colombia 1922 – 2013 Temperatura, Salinidad, Densidad, Velocidad Geostrofica. Dirección General Marítima – Ecopetrol S.A. Ed. Dimar. Bogotá, Colombia. 117 pp.
- Bernal, G., Ruiz Ochoa, M. y Beier, E. (2010). Variabilidad estacional e interanual océano-atmósfera en la cuenca Colombia. *Cuadernos del Caribe*, 8(14).
- Chollet, I., P. Mumby, F. Müller-Krager, y Ch. Hu. (2012). Physical environments of the Caribbean Sea. *Limnology and Oceanography*, No. 57(4). pp 1233 – 1244.
- Comisión Colombiana del Océano. (2015). Aportes al Conocimiento de la Reserva de Biósfera Seaflower. pp 108.
- CORALINA-Invermar. Gómez-López, D. I., C. Segura-Quintero, P. C. Sierra-Correa y J. Garay-Tinoco. (2012). Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” -Invermar- y Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina -CORALINA-. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 28, p 55.
- Dainco. (1980). Proyecto para el desarrollo de la pesca artesanal y la investigación en el archipiélago de San Andrés y Providencia. San Andrés Isla, Colombia. Dainco, 240 pp Editor, pags.
- Garay, J., F. Castillo, C. Andrade, J. Aguilera, L. Niño, M. De la Pava, W. López, G. Márquez. (1998). Estudio oceanográfico del Caribe Colombiano en el área del Archipiélago de San Andrés y Providencia y cayos adyacentes. *Boletín Científico CIOH*, No. 9. pp 3 – 73.
- González, E. (1987). Oceanografía física descriptiva del Archipiélago de San Andrés y Providencia con base en el análisis de los cruceros OCEANO VI a IX. *Boletín Científico CIOH*, No. 7. pp 73 – 100,.
- Hernández-Guerra, A. y T. Joyce. (2000). Water masses and circulation in the Surface layers of the Caribbean at 66°W. *Geophysical Research Letters*, Vol. 27, No. 21. pp 3497 – 3500.
- Molares R., T. Vanegas, J. Bustamante y, C. Andrade. (2004). Aspectos oceanográficos sobre la Depresión Providencia en mayo de 2004. *Boletín Científico CIOH* No. 22. pp 11 – 25.
- Stewart, R. (2008). Introduction to physical oceanography. Department of Oceanography Texas A y M University. Edition, p 82.
- Zweng, M.M, J.R. Reagan, J.I. Antonov, R.A. Locarnini, A.V. Mishonov, T.P. Boyer, H.E. Garcia, O.K. Baranova, D.R. Johnson, D. Seidov y M.M. Biddle, 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 2: Salinity. S. Levitus, Ed., A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 74, 39 pp.