



*Ricardo Molares B.
jsemon@cioh.org.co

*Tatiana Vanegas J.
tatianavj@yahoo.com

*Juan Bustamante V.
juan_p_bustamante@yahoo.com

*Carlos A. Andrade A.
candrade@buzcald.com.

*CIOH

CIOH
www.cioh.org.co

Aspectos oceanográficos de las aguas sobre la Depresión Providencia en mayo de 2004

Resumen

Se investigaron las características oceanográficas de las aguas sobre la Depresión Providencia (Lat. 12.8° N, Long. 81.7° W) mediante un estudio físico, químico y biológico hecho a bordo del BO ARC Providencia del 25 de mayo al 17 de junio de 2004. Análisis de los parámetros físicos mostraron que la llegada de una onda atmosférica proveniente del Este modificó la capa de mezcla profundizándola de 35 a 55 m en ocho días. Estimaciones geostroficas indicaron un flujo principalmente hacia el sur de ~0.12 m/s. Las capas superficiales no se encontraron ocupadas por agua superficial del Caribe indicando la poca influencia de los grandes ríos suramericanos en la región en esta época. El núcleo de agua subsuperficial subtropical tuvo salinidades superiores a 37.0 en 125 m de profundidad, valores altos de acuerdo con la climatología. El agua intermedia antártica presentó una salinidad mínima de 34.795 en 700 m de profundidad y se encontró agua profunda del Atlántico Norte en profundidad. Las medidas químicas y de nutrientes estuvieron dentro de los rangos conocidos para el área estudiada y se reportan especies de macrofauna de superficie y béntica viva en el momento del muestreo. Los parámetros estudiados indicaron que las aguas en la Depresión estuvieron bien ventiladas en el momento de las mediciones.

Palabras claves: Depresión submarina Providencia, Mar Caribe

Abstract

The oceanographic characteristics of the oceanic waters over the Providencia Depression (Lat. 12.8 N, Long. 81.7 W) were investigated by means of a physical, chemical and biological study made on board the oceanographic vessel ARC "Providencia" from May 25 to June 17, 2004. Analysis of the physical parameters showed the modification of the mixed layer that deepened from 35 to

55m in 8 days due to the arrival of an atmospheric easterly wave. Geostrophic estimations indicated a mainly southward flux of $\sim 0.12\text{m/s}$. Surface layers were not occupied by Surface Caribbean Water indicating the little influence of the larger south American rivers in the area during this epoch. The core of Subtropical Underwater had salinities above 37.0 in 125m depth, these are high values according to the climatology. Intermediate Antarctic Water showed a minimum salinity of 34.795 in 700m depth and Deep Atlantic Water was found deeper. Chemical and nutrient measurements were within known ranks for the studied area. Surface and benthic macrofauna alive during the survey were reported. The studied parameters indicated that the waters in the Depression were well ventilated at the moment of the measurements.

Key words: Providencia depression, Caribbean Sea

Introducción

La investigación oceanográfica del área del Archipiélago de San Andrés por parte de la Armada colombiana se remonta a los años 1960's con los cruceros del buque oceanográfico precisamente llamado ARC "San Andrés". Posteriormente se verificó la presencia de las masas de agua más superficiales, su contenido químico y presencia de organismos planctónicos, pelágicos y bentónicos sobre la plataforma carbonatada, basados en un reconocimiento estacional que efectuaron las unidades oceanográficas colombianas ARC "Providencia" y ARC "Malpelo" durante 1985 y 1986 cada tres meses (González, 1987; Garay et al., 1988). Estudios más localizados empezaron a hacerse en el área de Bajo Alicia durante 1995 y 1996 (Andrade et al., 1996) y en

el año 1997 se efectuaron cruceros oceanográficos con el fin de estimar el transporte oceánico que pasa por el Archipiélago hacia el Mar Caimán y del que recircula en el Caribe suroccidental (Andrade, 2000). Así mismo, utilizando sensores remotos en órbita (en particular los altímetros) se conoció el papel de la presencia del Archipiélago en la actividad de media escala oceánica (remolinos) (Andrade y Barton, 2001), y utilizando boyas de deriva se observó la dominancia del Archipiélago como límite natural de la circulación de las células ciclónicas del Caribe Suroccidental (Andrade, 2001).

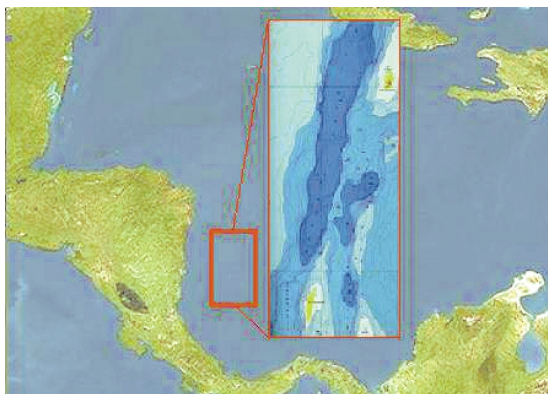
Desde otro punto de vista, en el desarrollo del plan de Cartografía Náutica Nacional y en particular durante el desarrollo de las cartas batimétricas para la obtención de la Carta Batimétrica Internacional del Caribe (IBCCA), se encontraron geoformas muy profundas entre la plataforma continental y el Archipiélago que llamaron la atención por ser tan abruptos, especialmente la Depresión Providencia (Tabares et al., 1996).

La Depresión Providencia centrada (Lat. 12.8° N, Long. 81.7° W) es un rasgo geomorfológico consistente en una profundización abrupta del fondo marino, con forma alargada en dirección N-S, de aproximadamente 120 km de largo por 26 km de ancho, con "paredes" que en la parte occidental vienen de 30m de profundidad y en la parte occidental desde los 600m y que alcanza profundidades de más de 2500m. Esta Depresión marca una separación entre la actual plataforma continental centroamericana y la plataforma insular del Archipiélago de San Andrés (Figura 1).

La plataforma insular (cuyas partes conspicuas más emergidas son las Islas de Providencia, San Andrés, Santa Catalina, el Banco Quitasueño y las islas de Serrana, Roncador,

Serranilla, Alburquerque y Bolívar) fue la continuación geológica y geomorfológica de la grandísima plataforma continental llamada Centro-americana pero no hace parte de ella. Se trata mas bien, de un fragmento destacado por movimientos recientes del suelo submarino en relación genética probable con los movimientos de la "dorsal" del Pacífico, es decir en la prolongación de la zona de fractura de Panamá. Se trata de una cicatriz activa (intraplaca) abierta y aprofundizada por megadeslizamiento rotativo y cizallamiento (shear-movement) (comm. pers. Jean-René Vanney*).

* Jean-René Vanney es el Director del Instituto de Hidrografía del Principado de Mónaco. Reconocido geólogo a nivel mundial.



Esta situación geomorfológica generó un "abismo" oceánico donde existen aguas profundas (<2500m) encerradas por profundidades menores a 1000m, haciendo de éste, un sitio particular para la investigación científica. En particular de la circulación oceánica, la ventilación de las aguas profundas, su contenido de oxígeno, la cantidad de nutrientes y sobre los organismos vivos y fósiles tanto en sus paredes como en el fondo. Por esas razones, se efectuó una investigación multi-disciplinaria en la cual se observaron

parámetros físicos, químicos, biológicos y geológicos como se describe a continuación.

Metodología

El cruceo oceanográfico CARIBE 2004 se desarrolló a bordo del ARC "Providencia" en el área del Archipiélago de San Andrés y Providencia y el Golfo de Morrosquillo entre el 25 de mayo y el 17 de junio de 2004 (Ver figura 2). El cruceo no sólo atendió este requerimiento científico sino que también tuvo tareas de reconocimiento batimétrico de otras áreas distintas a la Depresión y durante todo este lapso de tiempo se hicieron observaciones meteorológicas y oceanográficas en superficie de manera continua.

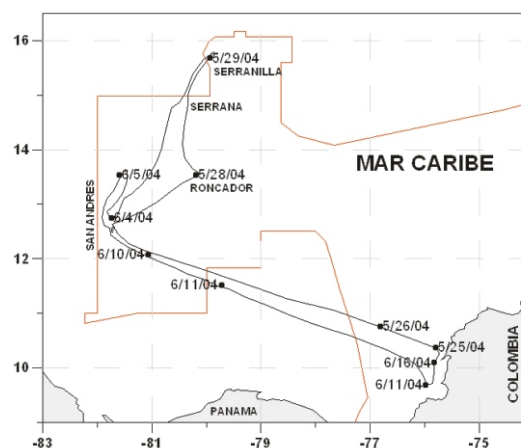


Figura 2. Derrota del ARC Providencia durante el cruceo oceanográfico CARIBE 2004.

Debido a la naturaleza de la cuenca, se establecieron estaciones que resultaran representativas tanto para las muestras de agua como para la sedimentología, de tal forma que se tuviese un conocimiento del área de estudio tanto en su parte central como de su entorno. Se trató entonces de buscar que la información recolectada permitiera identificar las diferentes características del agua y el sedimento optimizando la forma de muestreo

en la depresión submarina. Por esas razones, las estaciones fueron repartidas en tres transeptos zonales, uno al Norte (estaciones 8, 9 y 10), en el centro (estaciones 11, 12 y 13) y al Sur (estaciones 5, 6 y 7) de la Depresión, de tal manera que se pudiera calcular la componente meridional de la circulación y que al mismo tiempo se observaran las condiciones de las “paredes” de ésta. También se lanzó CTD más al Norte (estación 3) y al Este de San Andrés (estación 1) para efectos de comparación y control. Tres de las estaciones se realizaron directamente en la Depresión en profundidades entre 2000 y 2517 m. Las estaciones alrededor de la Depresión oscilaron entre los 800 y 1000 m de profundidad (Figura 3).

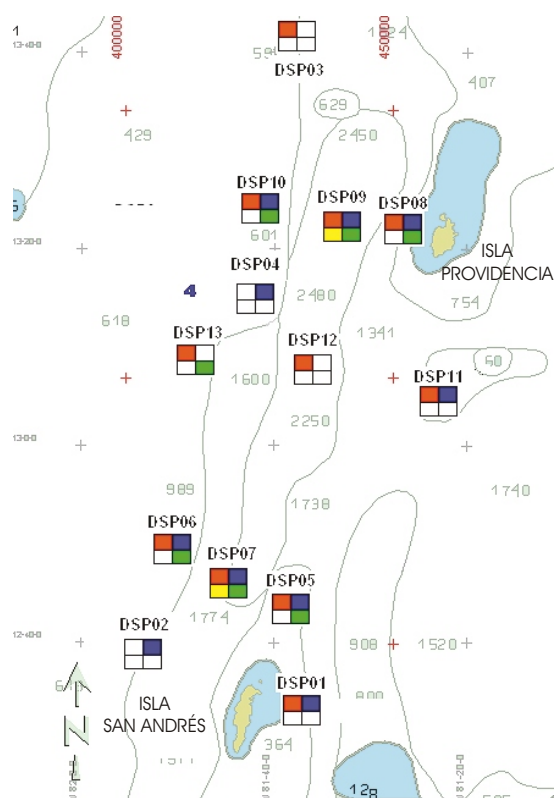


Figura 3. Estaciones oceanográficas. Rojo: Perfiles CTD. Azul: Sedimentos superficiales. Amarillo: Muestras de agua. Verde: Núcleos de sedimento.

Los 13 perfiles verticales de temperatura y salinidad se tomaron con una sonda CTD SB-19 Sea Bird hasta 2200m o hasta cerca de 10m sobre el fondo del mar donde fue menos profundo. Las medidas del CTD también fueron comparadas en dos estaciones hechas con botellas Nansen en profundidades estándar tomando muestras de la columna de agua.

Para cada sección se hicieron cálculos geostroficados referenciados a 750 dbar. La superficie de 750 dbar se utilizó como nivel de referencia para los cálculos geostroficados porque fue la máxima profundidad alcanzada por la mayoría de las estaciones y porque ha sido utilizada previamente en esta área del mar Caribe (Gordon, 1967; Roemmich, 1981). Donde la profundidad fue menor que la del nivel de referencia, como en las estaciones cerca de las paredes de la Depresión, se utilizó el método propuesto por Reid y Mantyla (1976) para determinar la velocidad geostrofica. El espaciamiento entre estaciones fue suficientemente grande para estimar una señal baroclínica significativa para los cálculos.

De las botellas lanzadas se utilizaron 300 ml para análisis del oxígeno disuelto, 20 ml para pH y 500 ml para análisis de amonio, nitritos y fosfatos. Se prepararon 400 ml de solución yoduro-alcalina y 400 ml de solución de sulfato de manganeso, necesarias para la fijación del oxígeno. Se utilizaron 450ml de H2SO4 concentrado para la fijación de nutrientes y determinación de oxígeno disuelto por método Winkler. Así mismo se preparó una solución estandarizada de trisulfato de sodio para titulación volumétrica para el análisis de oxígeno disuelto. Además, se realizó la calibración de medidor de pH-Ionómetro con soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0. Los análisis fueron hechos mediante el uso de los métodos estándar APHA-AWWA-WPCF.

También se tomaron 9 muestras de sedimento superficial con una draga Shipeck de 0,041m² de área efectiva. Las muestras recogidas se dividieron en dos partes iguales, una para efectuar análisis sedimentológicos y las utilizadas para realizar la identificación biológica. Estas últimas fueron teñidas con rosa de bengala diluida en formalina al 4% que ayuda a lograr su preservación. Posteriormente fueron observadas con la ayuda de un estereoscopio y un microscopio que permitió visualizar los organismos encontrados.

Finalmente, resulta importante señalar que además de las muestras de sedimento superficial se obtuvieron 7 núcleos de sedimento utilizando un “piston corer” de casi dos metros de longitud, dos de ellas en el fondo de la Depresión a más de 2500m de profundidad, cuyo análisis está siendo llevado a cabo y será presentado posteriormente.

Resultados y Discusión

Meteorología

El tiempo atmosférico durante la investigación estuvo influenciado por una débil baja presión generalizada en el área que se intensificó en la medida que dos ondas del Este llegaron al área de estudio. En general el tiempo predominante fue de cielo cubierto con lluvias y vientos que oscilaron entre los 10 y 15m/s con dirección del E-NE. El oleaje osciló entre 1 y 5 m de altura con dirección al Oeste. El difícil estado de mar obligó al replanteamiento de las líneas de levantamiento y a ajustar la maniobra del buque y el uso de los equipos para llevar a cabo la investigación.

La temperatura superficial del mar (TSM) fue medida cada hora durante el crucero. La interpolación de la TSM tomada durante el crucero muestra que el área estuvo ocupada por aguas de hasta 28.4° C y bajo a 27.2° C en la medida que arreció el viento (Figura 4).

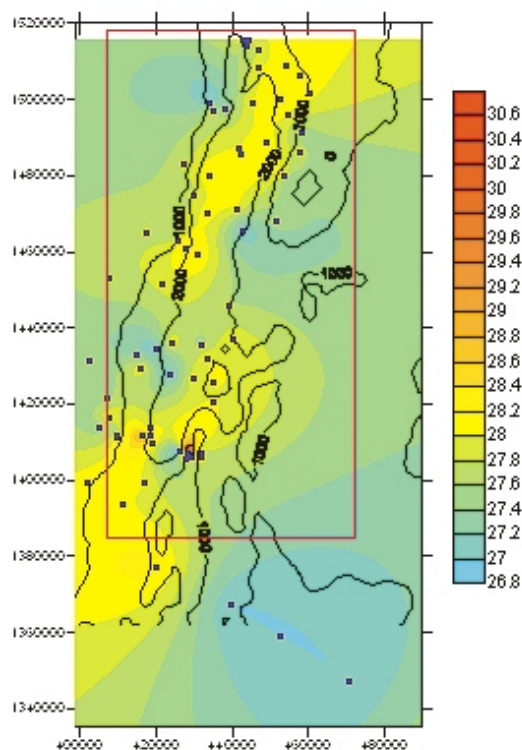


Figura 4. Temperatura superficial del mar medida en el área de estudio. Los puntos azules representan la toma de datos. Las variaciones de alrededor de un grado se deben principalmente a la degradación de la estructura térmica debido al aumento del viento en la medida que transcurrió el crucero oceanográfico.

Aspectos oceanográficos

Los perfiles oceanográficos también permitieron ver la evolución de la capa de mezcla en la medida que el viento se intensificó en el área de estudio. Durante los primeros días se observaron capas de mezcla con un espesor de alrededor de 35 m,

encontrándose con la pycnoclina a partir de los 40m de profundidad. Una semana más tarde la pycnoclina se había profundizado alrededor de 20m debido a la intensidad del viento (figura 5).

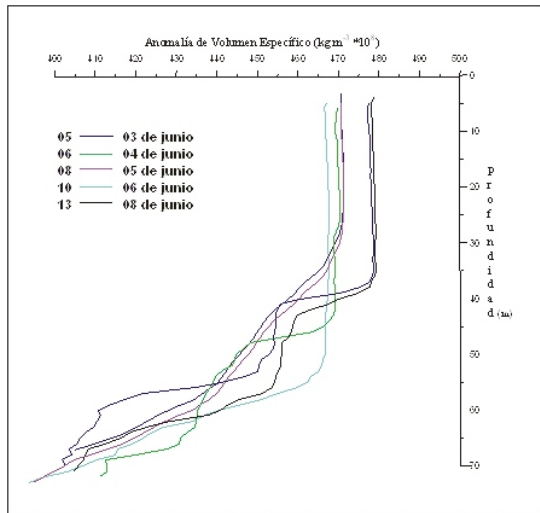


Figura 5. Perfiles de densidad (anomalía de volumen específico) muestran la estructura y variación de la capa de mezcla. Tres familias diferentes pueden observarse, las estaciones del Sur, 5 y 6 con escalones en 40m; la estación 10 donde la corriente fue notable por su aparente intensidad en superficie y la estación 13 cuando el viento ya ha profundizado la capa de mezcla hasta unos 55m alrededor de 20m en ocho días.

También mostraron que la pycnoclina llega alrededor de los 400m donde cambia el gradiente. Todos los perfiles de temperatura fueron muy similares por debajo de los 1000m. La máxima salinidad (alrededor de 37.07 en la estación 1) fue encontrada alrededor de los 125m en todas las estaciones, la mínima de 34.795 alrededor de los 700m. (Figura 6). Los perfiles oceanográficos medidos en las estaciones más profundas hechas al Norte y Sur en el centro de la Depresión tuvieron un comportamiento similar muy homogéneo y sin cambios que insinuaran alguna discontinuidad propia de

aguas estancadas o de características diferentes.

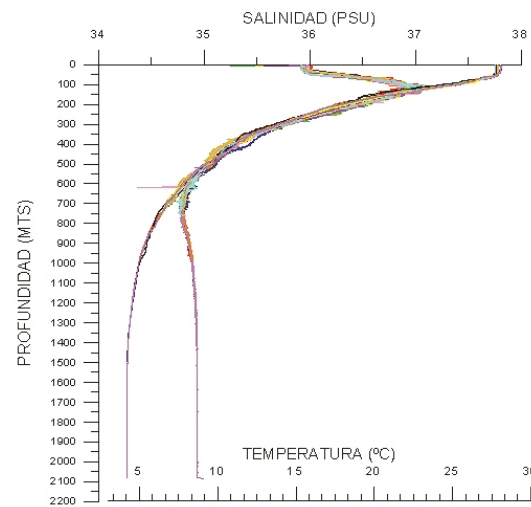


Figura 6. Perfiles de salinidad y temperatura medidas en todas las estaciones.

Circulación oceánica

La circulación oceánica del área del Archipiélago depende principalmente de la limitación geográfica que ofrece el Paso Chibcha a las aguas que se dirigen hacia el Mar Caimán (Andrade et al., 1996; Andrade, 2000) y a la configuración de la geografía de la región que obliga a la recirculación de las aguas que vienen del Este, la corriente del Caribe, que toma en el área una dirección cada vez más hacia el Sur, hasta llegar al Golfo de Mosquitos donde reside un ciclón casi permanente (Andrade; 2001). Por esta razón fue importante hacer una estimación de la componente meridional de la corriente geostrofica en el área.

Los cálculos geostrofos realizados desde los 750 dbar hasta los 100 dbar, entre los tres diferentes pares de estaciones a lo largo de la

Depresión mostraron el mismo comportamiento (Figura 7). Esta situación al ser recurrente de manera independiente apoya la certeza de la estimación. Menos profundo que 100m la corriente es significativamente ageostrófica debido a la intensidad del viento presente. Una curva media del cálculo geostrófico en las tres secciones indica que principalmente la corriente fluyó hacia el Sur entre 150 y 350m a velocidades hasta cerca de 0.12 ms⁻¹ y presentó flujos pequeños hacia el Norte centrados en 100m y otro en 400m (figura 7b). El resto del flujo en la columna de agua fue hacia el Sur.

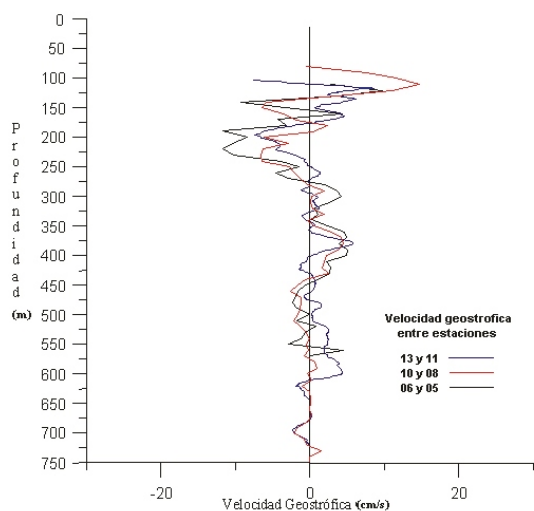


Figura 7a. Velocidad geostrófica meridional relativa a 750m. Los tres pares de estaciones muestran el mismo comportamiento por debajo de los 100m con tendencia hacia el Norte (valores positivos) en una capa a los 100m y un flujo más importante hacia el Sur en toda la columna desde 150m hasta los 350m en la superficie y es hacia el Sur en profundidad. La parte superficial del par central de estaciones (13 y 11) difiere de las otras debido posiblemente al gran cambio en el viento sufrido entre la toma de estas dos estaciones.

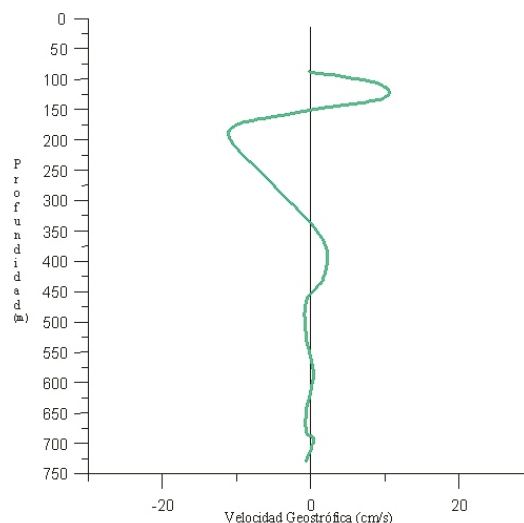


Figura 7b. Curva media de la velocidad geostrófica meridional relativa a 750 m que resume los cálculos mostrados de los tres pares de estaciones.

Así mismo, el área de SAI es rica en movimientos de media escala (eddies) que llegan a la zona con la corriente del Caribe y que interactúan de manera destructiva con las paredes del Archipiélago que se presenta como barrera natural. En ese sentido, durante la época de lluvias (mayo-noviembre), el área del Archipiélago es rica (in-crecendo) en vórtices de ambas direcciones, ciclónicos y anticiclónicos, con energía cinética $> 0.6 \text{ m}^2 \text{ s}^2$ (Andrade y Barton, 2000). Más al Sur, la corriente toma dirección cada vez más al Oeste hasta convertirse en la Contracorriente del Darién, (Andrade et al., 2003).

Masas de agua

Resultó evidente al observar todas las estaciones (figura 5) que las condiciones hidrodinámicas fueron alteradas en la capa superficial debido a las condiciones meteorológicas (fuertes vientos y lluvia) que se fueron intensificando durante el crucero. La capa de mezcla estuvo alrededor de los 60 m de profundidad con temperaturas mayores a

28° C y salinidades cercanas a 36 psu cerca de la superficie, sólo en los primeros metros se encontraron bajos valores de salinidad, atribuible a la precipitación reinante en el área. De esa manera, no se evidenció la presencia de la llamada Masa de Agua de Caribe (Wust, 1964) que se cree resulta de la mezcla de las aguas de los ríos Amazónicos, Orinoco y el Agua Superficial del Atlántico Norte, sino más bien, más parecida a esta última por la cantidad de sal encontrada. (Figura 8).

El máximo de salinidad se encontró entre 100 y 150 m, ligeramente mayor a 37.0 psu que es la característica del Agua Sub-tropical, sub-superficial (Sub-tropical Underwater). Valores tan altos en el máximo de salinidad de las columnas de agua en el extremo Oeste al interior del mar Caribe son notables ya que la climatología regional muestra valores que no llegaban a los 37.0 psu. Se cree que esta masa de agua se forma en el Atlántico Central, donde la evaporación excede a la precipitación y se hunde a lo largo de la isopícnica de 25.4 Kg.m⁻³ (Hernández-Guerra y Joyce, 2000). Más profundo en la columna de agua se encontró un mínimo de salinidad característico del Agua Intermedia Antártica localizada alrededor de los 700 m, de acuerdo con lo reportado por Wust, (1963), que correspondió también a un mínimo de oxígeno disuelto (Figura 9) ligeramente menor a 4 mg/l. Por debajo de los 1000m de profundidad las columnas fueron muy homogéneas, mostrando la presencia de Agua Profunda del Atlántico Norte (4°C, 35 psu) de acuerdo con lo encontrado por (Morrison and Nowlin Jr., 1982) en el Caribe oriental.

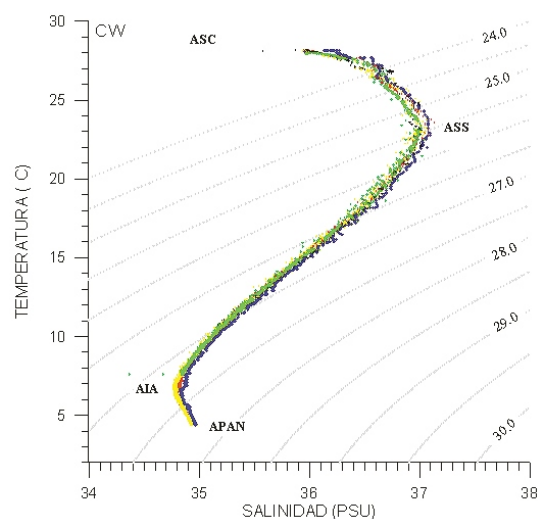


Figura 8. Curva TS. Masas de agua identificadas en el área de estudio. La curva TS (Temperatura vs. Salinidad) construida con los perfiles de CTD obtenidos, permitieron identificar el Agua Superficial del Caribe (ASC), Agua Subsuperficial Subtropical (ASS) y el Agua Intermedia Antártica (AIA) y Agua Profunda del Atlántico Norte (APAN)

Aspectos químicos

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en superficie estuvo alrededor de los 6.4 mg/l y descendió hasta la base de la capa de mezcla (Figura 9). Entre los 200 y 700 m de profundidad se encontraron los valores más bajos en la concentración del oxígeno, alcanzando un mínimo de 3.55 mg/l, en correspondencia a lo reportado por Morrison y Nowlin (1982) en aguas del Atlántico Central a profundidades entre 200-400 m. A partir de los 700 m de profundidad, se presentó un aumento en la concentración del oxígeno alcanzando el máximo de 6.84 mg/l correspondientes a la presencia del Agua Intermedia Antártica. En la zona profunda, desde los 1500 m hasta los 2400 m, la concentración se mantuvo sin mayores variaciones, salvo al llegar a los 2000 m donde alcanzó un mínimo de 5.80 mg/l. Los valores

de oxígeno disuelto se encontraron en un rango dentro de los límites típicos para las aguas oceánicas y el perfil vertical siguió una distribución similar a otros estudios realizados en aguas de regiones cercanas del Caribe (e.g. RASTA, 2002, OCÉANO, 1975-1984).

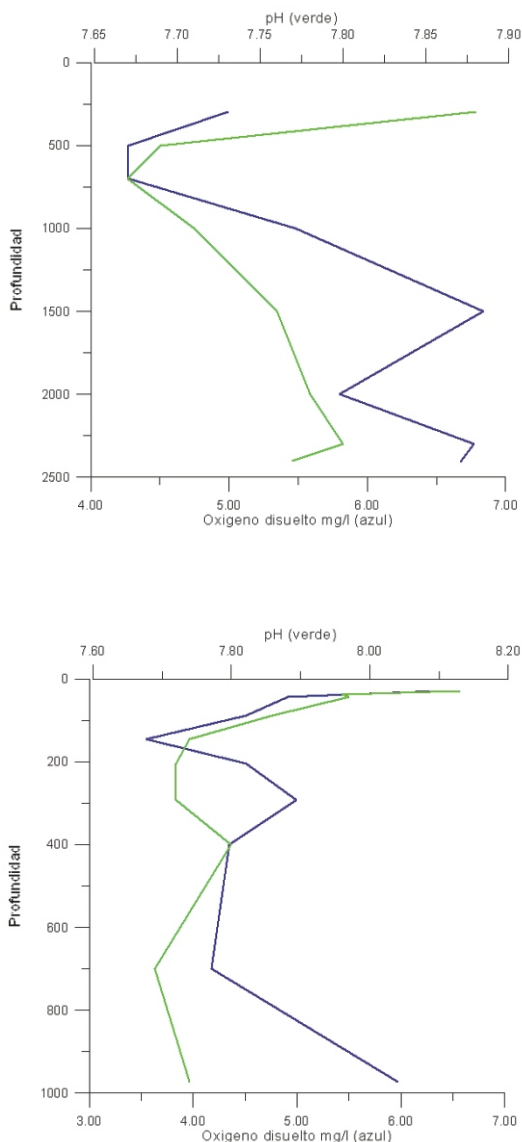


Figura 9. a) Perfiles verticales de oxígeno disuelto (azul) y b) mediciones de pH (verde) en la estación 7 (arriba) y estación 9 (abajo).

Además se hizo una comparación de los valores medidos con lo reportado por otras investigaciones en el área y sus cercanías (e.g. Garay et al., 1988; GEOMAR, 2004 Cruise Report) encontrando que la distribución del oxígeno disuelto medido en esta investigación estuvo de acuerdo con los anteriores (Figura 10) Es bien conocido que el área es rica en remolinos (e.g. Garay et al., 1988; Andrade y Barton, 2000) que pueden ser mecanismos de mezcla para esta agua, por lo que no hay muestras de estancamiento hidrodinámico en el fondo de la Depresión en el registro químico medido.

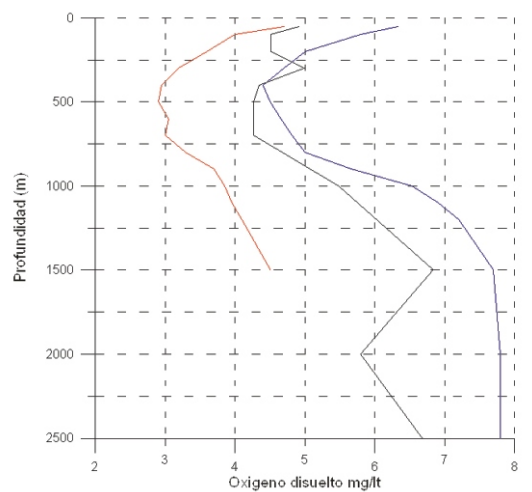


Figura 10. Comparación de los valores de oxígeno disuelto reportado diferentes estudios en el área. Garay et al, (1988) en rojo; Estación SO164-01-2 (RASTA, 2002) en azul y las tomadas en el crucero Caribe 2004 en negro.

Análisis de las mediciones de pH

Los resultados de las mediciones de pH se muestran en la Figura 9b. A los 30 m de profundidad se presentó el máximo valor de 8.13 para toda la columna de agua estudiada; a partir de esta capa el pH disminuyó a medida que se desciende hasta el final de la zona eufótica llegando a los 205 m hasta un valor

mínimo de 7.72. En la región afótica, alrededor de los 300 m se presenta un máximo de 7.87, el cual va disminuyendo hasta alcanzar un mínimo de 7.67 a los 700 m y a partir de ahí aumentó paulatinamente hasta alcanzar un valor de 7.8 a los 2300 m. Los valores de pH se encontraron dentro de los límites normales para el agua de mar 7.6-8.3 (Riley, 1965) y presentaron un promedio de 7.8.

Nutrientes

Ortofosfatos

Este ion se detectó a través de toda la columna de agua con una concentración media de 0.0685 mg PO₄-P/L. En la zona eufótica, desde los 30 m de profundidad hasta los 205 m, el valor mínimo de concentración (0.03 mg PO₄-P/L) se presentó a los 38 m y el máximo (0.09 mg PO₄-P/L) a los 205 m. Desde los 205 m hasta una profundidad máxima de 2400 m, la distribución de la concentración no fue uniforme. Se obtuvieron valores de 0.107 mg PO₄-P/L a los 700 m, que corresponden al máximo de concentración y de 0.039 mg PO₄-P/L que fue el mínimo para esta capa profunda. En general, los ortofosfatos tuvieron una ligera tendencia a aumentar su concentración en las capas más profundas.

Amonio

Las mínimas concentraciones se detectaron a los 88 y 700 m que fueron correspondientes con la zona de mínimo oxígeno disuelto, esto se explica debido a que la mayor parte del amonio reacciona con el oxígeno presente en la columna de agua para formar nitrato (Garay et al, 1988). La mínima cantidad detectada del ion fue de 0.007 mg NH₄-N/L a los 88 m y la máxima fue 0.3 mg NH₄-N/L a 500 m de profundidad. El promedio fue de 0.0719 μg NH₄-N/L.

Nitritos

Este ion se encontró en menor cantidad que el resto de los componentes nitrogenados en la columna de agua. A la profundidad de 88 m se midió una concentración de 1.6 μg NO₂-N/L, y alcanzó un valor de 1.0 μg NO₂-N/L a los 205 m, correspondiente a los límites entre la zona eufótica y la afótica.

En la zona afótica, se presentó la mínima concentración para toda la columna de agua (0.5 μg NO₂-N/L) a los 300 m, aumentando hasta 2.3 μg NO₂-N/L en los 700 m, correspondiendo también a la profundidad donde se registró el mínimo de amonio para esta zona. A los 1000 m hubo una disminución en la concentración llegando a 1.4 μg NO₂-N/L la cual fue aumentando a medida que se descendió hasta alcanzar el valor de 3.7 μg NO₂-N/L, que representó el máximo de concentración para toda la columna de agua.

Nitratos

El mínimo valor de concentración en toda la columna de agua (0.024 mg NO₃-N/L) se presentó a la profundidad de 30 m. En la siguiente capa, entre los 146 y los 700 m de profundidad, se evidenciaron los máximos valores de concentración, de 0.75 mg NO₃-N/L a los 292 m, siendo este hecho correspondiente a la región en donde también se encuentran las mínimas concentraciones de oxígeno en la columna de agua, esto debido en gran parte a la oxidación sufrida por los iones amonio para convertirse en nitratos. (Garay et al, 1988).

A los 300 m se encuentra el mínimo valor de concentración para la zona afótica y a partir de esta profundidad la presencia del ion nitrato aumentó hasta un valor de 0.47 mg NO₃-N/L a los 700m. En la capa por debajo de los 700 m hasta los 2400 m, la concentración estuvo en un rango de valores entre 0.30 y 0.39 mg NO₃-N/L. La concentración media en la columna de agua fue 0.38 mg NO₃-N/L

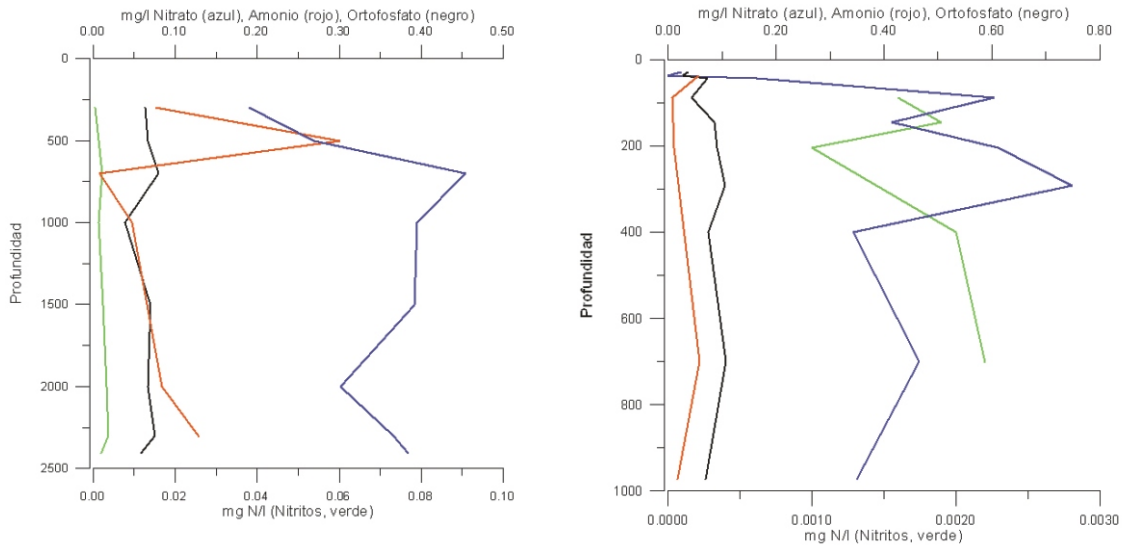


Figura 11 Perfiles verticales de Ortofosfatos, Amonio, Nitrato, Nitrito en las estaciones 7 (izquierda) y estación 9 (derecha).

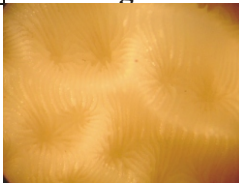
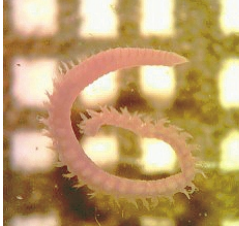
Aspectos biológicos


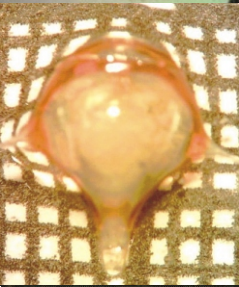





Dentro del componente macrozoobentónico, se realizó la identificación de las muestras recolectadas con draga Shipeck y de los organismos pertenecientes a esta comunidad en la superficie que se tomaron con un balde


desde cubierta. Los organismos vivos y los restos de estructuras de individuos muertos encontradas en cada muestra se presentan consignados en la Tabla 1.

Las muestras de macrobentos indicaron ausencia de organismos vivos a partir de la

Tabla 1. Organismos macrozoobentónicos encontrados en las muestras recolectadas en el Crucero CARIBE 2004.

Posición	Prof(m)	Imágenes	Identificación
13°34'12" N 80°05'54" W	23		Parte de coral vivo <i>Agaricia agaricites</i> (fig).
14°17'45" N 80°23'03" W	21.5		8 individuos Nematodos, organismos Clase Polychaeta, 4 Orbinidae (fig.), 1 Sabellidae y 2 Spionidae.

12°39'24" N 81°54'16" W	0		Tres organismos de la Clase Polychaeta, Familia Nereidae (<i>fig.</i>), donde se observa diferenciación en el metastomio la cual se observa durante la etapa reproductiva.
13°12'38" N 81°39'35" W	2400		No presencia de organismos vivos. Restos de moluscos del Orden Tecosomata, Género <i>Dicerca</i> sp (<i>fig.</i>).
12°43'08" N 81°37'37" W	1200		No presencia de organismos vivos. Restos de foraminíferos en estados orbulinos, <i>Globigerinas</i> (<i>fig.</i>) y <i>Elphidium</i> sp.
12°42'40" N 81°37'51" W	1261		No presencia de organismos vivos. Restos de ostracodos y foraminíferos.
12°43'13" N 81°43'18" W	1000		2 organismos poliquetos de las familias Orbinidae y Maldanidae (<i>fig.</i>).
12°49'25" N 81°50'07" W	874		No presencia de organismos vivos. Restos de foraminíferos y tecosomados.
12°46'08" N 81°44'38" W	2417		No presencia de organismos vivos. Restos de moluscos tecosomados <i>Cavolini a gibosa</i> (<i>Fig.</i>), <i>Dicerca tripinosa</i> , <i>Dicerca major</i> y de foraminíferos.
13°23'17" N 81°25'44" W	861		Organismos poliquetos, 2 Maldanidae, 1 Sabellidae (<i>fig.</i>) y 1 Onuphidae. Restos de foraminíferos y moluscos bivalvos.

13°23'04" N 81°24'15" W	10.6		Pasto marino <i>Syringodium</i> sp, macroalgas <i>Udotea</i> sp (fig.) y <i>Halimeda incrassata</i> , los bivalvos <i>Macoma</i> sp y <i>Lima</i> sp y los poliquetos 3 Glyceridae y 2 Spionidae.
13°25'01" N 81°41'42" W	627		No presencia de organismos vivos.

profundidad de 627 m a excepción de dos muestras tomadas a 861 y 1000 m lo cual no permite generalizar respecto de la dependencia de las condiciones biológicas presentes en el área de estudio y la profundidad. Por ser una investigación pionera referente a la Depresión submarina de Providencia y zonas aledañas, la posibilidad de inferir comportamientos ecosistémicos no es viable en este momento, aunque se observa que los organismos vivos encontrados hacen parte de la biota incluida dentro de los grupo de anélidos, moluscos, cnidarios, fanerógamas y algas generalmente encontrados en el bentos marino del Caribe colombiano como se reporta en diferentes estudios (e.g. Castaño, 2000; Díaz y Puyana, 1994; Angel, 1998; Bravo y Prieto, 1983; Laverde y Rojas 1983; Cano, et al., s.a.; De la Pava y Arévalo ,sa).

Conclusiones

La condiciones oceanográficas observadas en mayo-junio de 2004 mostraron que el área de la Depresión de Providencia es muy energética, con intensa interacción océano-atmósfera que modificó las características de la capa de mezcla de manera importante en pocos días a la llegada de una Onda proveniente del Este que profundizó la capa de mezcla de 35m a 55m en 8 días. La componente meridional de la corriente geostrofica mostró variedad en la circulación

pero una mayor tendencia hacia el Sur con velocidades de hasta 0.12 m/s a 200m de profundidad. Así mismo las mediciones químicas y de nutrientes no mostraron anomalías y estuvieron dentro de los rangos esperados para las aguas del Caribe Suroccidental en las capas más superficiales.

La mezcla de masas de agua mostró que para la fecha de la observación el área no estaba ocupada por Agua Superficial del Caribe como otros autores han encontrado en el Caribe. Esto significaría que el Archipiélago de San Andrés al menos durante la época de vientos y de transición, se encuentra suficientemente apartado de la influencia de los grandes ríos (Magdalena, Orinoco y Amazonas) cuyas aguas afectan las capas superficiales del Caribe central y oriental. Las salinidades mayores de 37.0 encontradas en el núcleo de la Masa Subsuperficial Subtropical, reportados en años recientes (e.g. Andrade, 2000) son valores altos de acuerdo con la climatología de principios del siglo pasado cuando no se detectaron valores cercanos a 37.0. Así mismo, el núcleo de Agua Intermedia Antártica se encontró alrededor de los 700 m con mínimos valores de 34.795 y hay Agua Profunda del Atlántico Norte en profundidad hasta donde las sondas alcanzaron a muestrear. Como no se conocía con exactitud la geofoma de la Depresión, resultó de

particular interés estudiar si los fondos de ésta eran bien ventilados o si la abrupta geografía inhibía el fácil reemplazo de las aguas profundas. Las 3 columnas de agua examinadas en el centro de la Depresión fueron muy parecidas en temperatura y salinidad por debajo de los 1000m, lo que sugiere poca circulación dentro de ella, pero aun hace falta por medir las aguas inmediatas al fondo más profundo de la Depresión. Sin embargo, las muestras de oxígeno disuelto tomadas cerca del fondo, indicaron valores importantes aunque en 2000m fue menor de 6 mg/l, estos valores sugieren que a pesar de la poca dinámica en la parte profunda de la región, la Depresión parecía encontrarse bien ventilada para el momento de la investigación.

Futuros trabajos

Con el objeto de continuar con la caracterización de la independencia geomorfológica del Archipiélago de San Andrés de la plataforma continental centroamericana producida por la presencia de la Depresión entre las dos, el análisis de los núcleos de perforación obtenidos tanto en la zona profunda de la Depresión como en sus bordes, resultan de la mayor importancia y será motivo del análisis posterior. Para establecer esta independencia geomorfológica actual hay que hacer muchos perfiles de reflexión sísmica para probar la actividad sismo-tectónica de la falla de Providencia, actividad que va apartando los bloques insulares siempre más a lo largo de las aguas frente a Nicaragua. También, hay que hacer núcleos de perforación de roca para ver la diferencia de edad entre el substrato del área frente a Nicaragua y el de las islas colombianas.

Reconocimientos

Los autores agradecen al Sr. Comandante, oficiales y tripulación del ARC “Providencia” por su colaboración y esfuerzo durante el crucero. En particular al S1 William Castro y el personal técnico que participó en la operación y el que nos apoyó del CIOH en especial a su director el Sr. CN Mauricio Ospina. Así mismo, a Javier Reyes y Adriana Gracia del INVEMAR, por su interés en compartir durante las labores del crucero. Este trabajo fue realizado con financiación de la Dirección General Marítima a través de la División de Oceanografía del CIOH.

Referencias bibliográficas

- Andrade, C.A., E.D. Barton and C.N.K. Mooers, Evidence for an Eastward Flow along the Central and South American Caribbean Coast, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, C6-3185, June, 2003.
- Andrade, C.A. 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, Septiembre, 2001.
- Andrade, C.A. and E.D. Barton, Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res.*, 105, 26,191-26,201, 2000.
- Andrade, C.A., L. Giraldo and S. Lonin, Nota sobre la circulación de las aguas en el Bajo Alicia y el sector de San Andrés, *Bol. Cient. CIOH*, 17, 27-36, 1996.
- Angel, I.F. 1998. Estructura y distribución de las praderas de fanerógamas marinas en la isla de San Andrés, Caribe colombiano. Trabajo de grado (Biólogo Marino) Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.
- Bravo, N. Y G.M. Prieto. 1983. Aporte sistemático al estudio de las macroalgas de la Bahía de Cartagena. Trabajo de grado (Biólogo Marino) Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.
- Cano, M, J. Valderrama Y C. Gómez. Archipiélagos del Caribe colombiano. Banco de Occidente. Cali. Vol 958-95504-7-9.

- Castaño, C. 2000. Colombia universo submarino. Banco de Occidente. Cali. Vol 958-96749-1-7.
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Carta Náutica COL 044, Old Providence Island. Ira. Ed. Sept. 1998.
- _____, Carta Batimétrica COL 1624, Islas d San Andrés y Providencia..Ed. Enero 1998.
- _____, Carta Batimétrica COL 1624, Bancos de Quitasueño y Serrana, Ed. julio 1999.
- Defant, A., Physical Oceanography, Pergamon Press, pp.1319, 1961.
- De La Pava, M.L. Y L.M. Arévalo. (s.a.). Estudio preliminar de la fauna presente en el área de San Andrés , Providencia y cayos vecinos. Crucero Océano VI (junio 1983) y Océano VII (febrero 1984). Facultad de Biología Marina Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Díaz, J. M. Y Puyana, M. Moluscos del Caribe colombiano (Un catálogo ilustrado). COLCIENCIAS Fundación Natura INVEMAR. 1994. Editorial Presencia.
- Garay, J., F. Castillo, C.A. Andrade, J. Aguilera, L. Niño, M. De La Pava, W. López y G. Márquez, Estudio oceanográfico del Caribe colombiano en el área del Archipiélago de San Andrés y Providencia y cayos adyacentes. (Estudio multidisciplinario, varios autores) Boletín Científico CIOH, No. 9, pp.3-73, 1988.
- Gonzáles, E., Oceanografía física descriptiva del Archipiélago de San Andrés y Providencia, con base en el análisis de los cruceros OCEANO VI a IX, , Bol. Cient. CIOH, 7, 73-100, 1987.
- Gordon, A.L., Circulation of the Caribbean Sea, J. Geophys. Res., 72, 6207-6223, 1967.
- Hernandez-Guerra, A. and T.M. Joyce, Water masses and circulation in the surface layers of the Caribbean at 66°W, Gephys. Res. Lett., 27, 21, 3497-3500, 2000.
- IGAC. Estudio semidetallado de suelos de las Islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 1975. Bogotá.
- Laverde, J.J. Y S.A. Rojas. 1983. Poliquetos Annelida del área de la Bahía de Cartagena y zonas adyacentes. Trabajo de grado (Biólogo Marino) Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.
- Morrison, J.M. and W.D. Nowlin, Jr., General distributions of water masses within the Eastern Caribbean Sea during the winter of 1972 and fall of 1973, J. Geophys. Res., 87, 4207-4229, 1982.
- Mutis, S. (Director General). Diccionario Geográfico de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Tomo III. 1996. Colombia.
- Oliver, S. El medio ambiente en la Isla de Providencia. Corporación Nacional de Turismo-PNUD. 1978. Bogotá.
- Reid, J.L. y A.W. Mantyla, The effect of the geostrophic flow upon coastal sea elevations in the northern North Pacific Ocean, J. Geophys. Res., 81, 3100-3110, 1976.
- Roemmich, D., Circulation of the Caribbean Sea: A well-resolved inverse problem, J. Geophys. Res., 86, 7993-8005, 1981.
- Reporte de Crucero Caribe 2004. Estudio de las Aguas Profundas de la Depresión Submarina de Providencia. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. 2004.
- R/V SONNE Cruise Report SO164. Rapid Climatic Changes in the Western Tropical Atlantic (RASTA), GEOMAR Kiel, p. 150, 2002.
- Reyes, J Y Santodomingo, N. 2002. Manual de identificación CITES de invertebrados marinos de Colombia. INVEMAR. Santa Marta.
- Salazar, De León Y Salaices. 1988. Poliquetos (anellida: polychaeta) de México. Univ. Aut. Baja California Sur.
- Svenson, G. Proyecto para el desarrollo de la pesca artesanal y la investigación en el Archipiélago de San Andrés y Providencia. Departamento Administrativo de Intendencias y Comisarías. 1980.
- WCMC (World Conservation Monitoring Centre). 1992. Global Biodiversity. Chapman and Hall. London.
- Tabares, N., J.M. Soltau and J.Díaz. Caracterización geomorfológica del sector suroccidental del Mar Caribe, Bol. Cient. CIOH, 17, 3-16, 1996.
- Wust, G., On the stratification and the circulation in de cold water sphere of the Antillean-Caribbean basin. Deep Sea Res., 10, 165-187, 1963.