

Bol. Cient. CIOH	Cartagena (Colombia)	No. 7	p. g. 73 - 100	Mayo 1987	ISSN 0120-0542
------------------	-------------------------	-------	----------------	-----------	----------------

OCEANOGRAFIA FISICA Y DESCRIPTIVA DEL ARCHIPIELAGO DE SAN ANDRES Y PROVIDENCIA
CON BASE EN EL ANALISIS DE LOS CRUCEROS OCEANO VI AL IX

Por: EDUARDO A. GONZALEZ GONZALEZ *

RESUMEN

Se analizan las variaciones espacio-temporales de los parámetros físicos de cuatro cruceros realizados en 1983 y 1984 en la región del archipiélago de San Andrés y Providencia. Se estudian las masas de agua observadas hasta una profundidad máxima de 1000 m encontrándose:

- Agua Superficial del Caribe en los primeros 75 m,
- Agua Subtropical Intermedia (A.S.I.) entre los 75 y 150 m,
- Agua Central del Atlántico Tropical (A.C.A.T.) entre los 180 y 360 m,
- Agua Intermedia Subantártica (A.I.S.) a 700 m.

Se hizo un seguimiento de los núcleos de estas masas, lo que permitió observar variaciones espacio-temporales en el perfil de la zona Sureste.

El comportamiento vertical presentado por los parámetros físicos es el típico del Caribe, aunque se obtuvieron temperaturas superficiales ligeramente superiores a las reportadas para el área.

INTRODUCCION

Para conocer mejor los recursos marinos existentes en los mares colombianos, se vienen desarrollando proyectos multidisciplinarios de investigación en los últimos años. Entre estos se encuentra el proyecto "Estudio oceanográfico del área insular y oceánica del Caribe colombiano", desarrollado con la cofinanciación de COLCIENCIAS durante 1983 y 1984 con cuatro cruceros oceanográficos denominados:

- OCEANO VI - Realizado del 8 al 30 de junio de 1983,
- OCEANO VII - Realizado del 3 al 27 de octubre de 1983,
- OCEANO VIII - Realizado del 7 de febrero al 6 de marzo de 1984,
- OCEANO IX - Realizado del 2 al 9 de julio de 1984.

Los cruceros se realizaron a bordo de los buques oceanográficos ARC "Malpelo" (el OCEANO VII y VIII) y ARC "Providencia" (OCEANO VI y IX).

En este momento se está en la fase de análisis de los parámetros observados, que se pueden agrupar en tres áreas: física, química y biológica. La siguiente fase del proyecto será el análisis conjunto de estos trabajos para atender mejor la relación entre la dinámica oceánica de la zona y su ecosistema.

* Oceanógrafo físico de la Escuela Superior de Ciencias Marinas de la Universidad de Baja California. Actualmente adelanta estudios de postgrado en Ingeniería Oceánica en la Universidad de Miami.

I. ANTECEDENTES

Para esta zona específica del Caribe no se han realizado estudios físicos. En general la mayoría de los trabajos realizados en la cuenca caribeña se han basado en el análisis de datos obtenidos en diferentes cruceros y en épocas distintas, pero interpretados en conjunto.

Este es el caso del estudio de datos históricos efectuados por WUST (1964), que le permitió identificar las siguientes masas de agua en los primeros 1000 metros con base en las expediciones del B/O ATLANTIS y el B/O CRAWFORD principalmente, entre 1939 y 1960.

- o Agua Superficial del Caribe (hasta una profundidad de 50 a 75 m), caracterizada por su baja salinidad.
- o Agua Subtropical Intermedia (con un máximo de salinidad entre los 150 y 200 m).
- o Agua Intermedia Subantártica (mínimo de salinidad entre los 600 y 900 m).

También apoyado en datos históricos, Gordon (1967) presenta un modelo de circulación para el Caribe con base en cálculos geostroficados.

A continuación, MORRISON y NOWLIN (1982) presentaron una distribución general de las masas de agua, basado en datos más completos (mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, silicatos, fosfatos y nitratos), tomados en 1972 y 1973. Este trabajo determinó el comportamiento de la masa de agua en los Sargazos (un máximo de la concentración de oxígeno disuelto entre los 200 y 400 m) y del Agua Tropical del Atlántico Central un mínimo de oxígeno entre los 400 y 600 m), dentro de la cuenca.

Los primeros cálculos geostroficados, hechos con una resolución espacial muy pobre, muestran una corriente bastante uniforme que básicamente, tiene una dirección Oeste, y en la que las masas de agua penetran por los pasos principales que dividen el mar Caribe del océano Atlántico (figura 1); el paso Windward que junto con el paso Anegada-Jungfern son los más profundos, así como los pasos de Grenada, St. Vincent y Mona, especialmente.

Sobre el patrón de circulación superficial, estudios recientes como el de MOLINIARI et al. (1981), muestran una diferencia notable con los primeros trabajos en esta área. Por medio de mediciones lagrangianas (boyas a la deriva seguidas por satélites) obtuvo un patrón de circulación mucho menos uniforme que presenta gran cantidad de eddies y meandros debido a la batimetría de la cuenca, aunque se sigue observando un flujo principal con dirección Oeste. Los eddies observados (anticiclónicos y ciclónicos) se presentaron en tres áreas principales: elevación Aves, cordillera Beata y elevación de Nicaragua (figura 1), con diámetros que van desde 20 hasta más de 200 km.

METCALF (1978), presentó los cálculos más completos sobre los volúmenes que entran y salen por los pasos del este del Caribe, y el efecto de estos en las masas de agua que lo atraviesan, utilizando un seguimiento de núcleos (core method).

En cuanto a la circulación profunda, se destacan los trabajos de WUST (1963) que habla de un flujo en el fondo de la cuenca, de las masas de agua más profundas, mientras que WORTHINGTON (1971) sostiene la hipótesis de que no ha

habido un flujo continuo en los últimos 100 años, o si lo ha habido ha sido en pequeños volúmenes.

ATWOOD 1977, analiza un poco más este punto en lo relacionado con el posible efecto que pueden tener los contaminantes con este fenómeno por la falta de renovación del agua profunda y presenta un análisis del compartimiento de la cuenca del Caribe

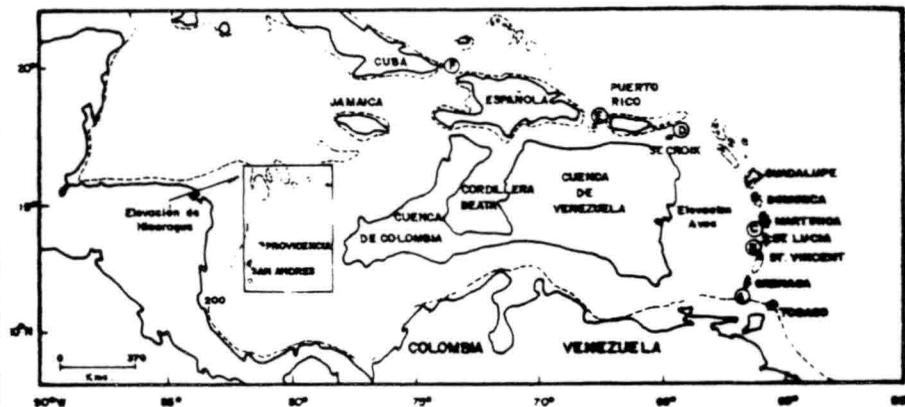


FIGURA 1. Localización del área de estudio, de los principales pasos por donde penetrarán las masas de agua al mar Caribe siendo estos: a. Paso de Grenada - b. Paso de St. Vicente - c. Paso de St. Lucía - d. Paso de Anegada-Jungfern - e. Paso de Mona - f. Paso Windward.

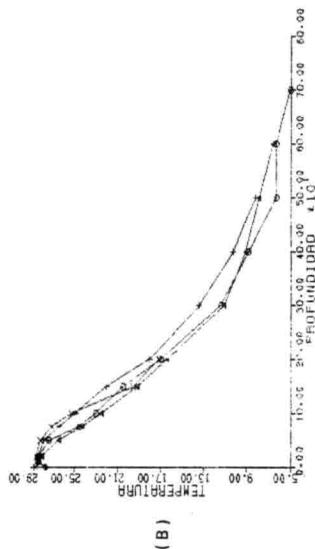
II. OBJETIVOS

Conocer la distribución y las variaciones espacio-temporales de la temperatura, salinidad, densidad, σ_t y oxígeno disuelto, y la existencia de fenómenos físicos como eddies, en la zona de estudio. Esto permitirá entender la dinámica a mesoescala de la región y su influencia en el comportamiento general del mar Caribe más que nada por ser una zona a través de la cual circula parte del agua que entra al golfo de México, que a su vez tiene importancia en otros fenómenos, entre ellos el origen de la corriente del golfo.

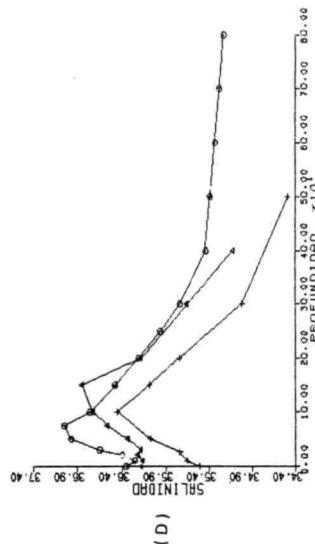
AREA DE ESTUDIO

En el área del archipiélago de San Andrés y Providencia, comprendida entre las coordenadas 78° 28' a 82° W y 11° 30' a 16° 30' N, denominada Región II-Región Insular del Caribe (figura 2), se determinó la posición de 81 estaciones que fueron muestreadas durante los cuatro cruceros oceanográficos (aunque el Océano VI fue el único que realizó un muestreo completo de todas ellas).

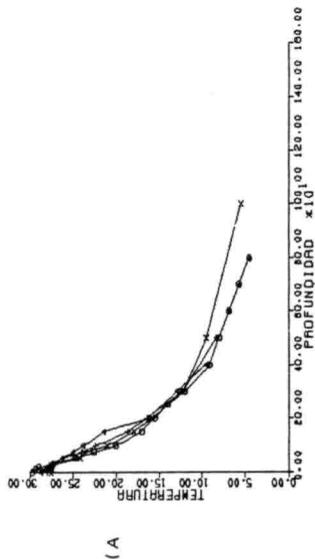
OCEANO V Y IX ESTACIONES 44-6
GRAFICAS TÍPICAS DE LA TEMPERATURA



OCEANO VI Y IX ESTACIONES 44-6
GRAFICAS TÍPICAS DE SALINIDAD VS. PROFUNDIDAD



OCEANO VI Y IX ESTACIONES 44-68
GRAFICAS TÍPICAS DE TEMPERATURA VS. PROFUNDIDAD



OCEANO VI ESTACIONES 44 Y 68
GRAFICA TÍPICA DE LA TEMPERATURA VS. PROFUNDIDAD

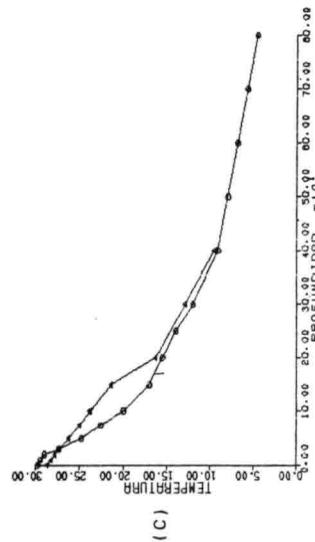


FIGURA 4. Perfiles verticales de temperatura y salinidad típicas de los cuatro cruceros.

I. PERFILES VERTICALES

Los perfiles verticales (figura 4) se compararon con los resultados de EMERY y DEWAR (1982), que analizan todos los datos de calidad obtenidos para el Caribe, y muestran promedios de los parámetros físicos.

En esta comparación se notó que los datos de los cruceros concuerdan con los datos históricos y se encuentran dentro de los rangos que ellos obtuvieron, habiéndose hallado una estratificación termohalina típica de los mares tropicales.

Con el análisis de estos perfiles se obtiene una primera visión del comportamiento de los parámetros en la columna de agua, principalmente alrededor de la estructura de la termoclina.

A. TEMPERATURA CONTRA PROFUNDIDAD

Las variaciones estacionales observadas entre los cuatro cruceros de la temperatura superficial, concuerdan con el análisis de datos históricos hechos por PELROTH (1971), que muestra una variación de 2 °C entre el verano y el invierno, como se indica a continuación:

Temperatura Superficial Promedio

OCEANO VI	29.45 °C
OCEANO VII	28.52 °C
OCEANO VIII	26.85 °C
OCEANO IX	27.87 °C

Sin embargo se observa que el OCEANO VI y VII muestran temperaturas superiores a los promedios que presentan EMERY y DEWAR (1982), con índices máximos de alrededor de 28 °C.

Los perfiles de temperatura (figura 4) muestran prácticamente la ausencia de una mezcla y una termoclina caracterizada por un gradiente vertical no muy fuerte. Esta tiene un grosor aproximado de 200 m.

B. SALINIDAD CONTRA PROFUNDIDAD

Todos los cruceros se caracterizan por una capa superficial de baja salinidad, originada por la desembocadura de los ríos en la cuenca del Caribe o por las altas precipitaciones que exceden a la evaporación existente. Wüst (1964) llama a esta capa, Agua Superficial del Caribe, y tiene una salinidad menor de 35.5 ‰ (según MOLINARI et al., 1982). ATWOOD (1977) señala el origen de esta capa en el aporte de agua dulce de los ríos Amazonas, Orinoco y Magdalena. Lo anterior se basa en la concentración de silicatos encontrados, que son transportados por los ríos mencionados.

En las observaciones realizadas por los cuatro cruceros, el promedio superficial de salinidad es ligeramente mayor que el de MOLINARI et al. (1982), como se vé en la tabla 1. Sin embargo sigue presentándose el comportamiento típico del Caribe con un máximo de salinidad en los primeros

200 m. (figura 4-D). Cuando la profundidad a que se muestreó lo permite, se observa también un mínimo, además de un gradiente vertical muy fuerte.

TABLA 1. Algunos valores promedios de los cuatro cruceros con respecto a la salinidad (los espacios sin valores aparecen porque se consideró que el número de datos no eran representativos).

CRUCEROS	SALINIDAD SUPERFICIAL	MAXIMO DE SALINIDAD (PROF.)	MINIMO DE SALINIDAD (PROF.)
OCEANO VI	36.2 ‰	36.85 ‰ (100 m)	35.22 ‰ (520 m)
OCEANO VII	35.8 ‰	36.87 ‰ (60 m)	
OCEANO VIII	35.9 ‰	36.72 ‰ (145 m)	34.83 ‰ (850 m)
OCEANO IX	35.6 ‰		

Hay que tener en cuenta que esta zona puede presentar una mayor influencia por parte de la alta precipitación de Centroamérica, que debido a los aportes de agua dulce de los grandes ríos de Suramérica, hace interesante conocer el comportamiento de los silicatos para aclarar ésta situación.

Las variaciones temporales superficiales son mínimas, como se aprecia en la Tabla 1, presentándose las salinidades menores en los meses de julio a diciembre, mientras que ATWOOD (1977), las establece entre los meses de junio a diciembre. Pero se obtuvo una variación mayor al comparar los perfiles de un crucero con otro, punto que se tratará más adelante.

C. DENSIDAD (SIGMA-T) CONTRA PROFUNDIDAD

Debido a que las profundidades en general no pasaban de 1.000 m, se decidió no utilizar la densidad potencial. El comportamiento de la termoclina, con un típico gradiente vertical para el Caribe, presenta una variación estacional en la superficie como se mencionó en el numeral A.

D. OXIGENO CONTRA PROFUNDIDAD

El objetivo de analizar este parámetro era el de tratar de determinar las masas de agua del mar de los Sargazos y la Central del Atlántico Tropical con base en el máximo y mínimo de oxígeno que muestran, respectivamente.

Como se vé en la tabla 2, estos índices no presentan una variación temporal fuerte en la superficie, con un promedio de oxígeno disuelto para los cuatro cruceros de 5 ml/L, aproximadamente.

El perfil vertical es casi homogéneo, aunque se aprecia un mínimo entre los 200 y 400 metros, correspondiente al agua Central del Atlántico Tropical, reportada por MORRISON y NOWLIN (1982) para una profundidad de unos 400 m.

Esta masa de agua penetra en el Caribe por dos zonas:

Una se encuentra formada por los pasos situados al noreste del Caribe (aproximadamente a los 16.5 °N) y la otra está formada por los pasos de St. Vicent y St. Lucia, cuyos flujos se unen formando uno solo con dirección oeste.

No se encontró un máximo de oxígeno en la columna vertical en los primeros 300 metros, que pudiera indicar la presencia del agua de los Sargazos. Posiblemente debido a procesos de mezcla o a que su influencia no llega a sentirse en la parte más Occidental del Caribe.

Por último el OCEANO VII y el OCEANO VIII presentaron una capa superficial con mayor concentración de oxígeno (de 50 y 80 metros de espesor respectivamente), que se debe a la producción de fitoplancton y a la cantidad de oxígeno que se difunde de la atmósfera al mar.

TABLA 2. Comportamiento del oxígeno disuelto en los cuatro cruceros.

CRUCEROS	OXIGENO SUPERFICIAL ml/L.	OXIGENO (MINIMO) ml/L.	PROFUNDIDAD DEL MINIMO DE OXIGENO.
OCEANO VI	4.69	2.92 ml/L.	350 m
OCEANO VII	4.51	3.20 ml/L.	360 m
OCEANO VIII	5.24	3.57 ml/L.	215 m
OCEANO IX	5.35	3.40 ml/L.	180 m

II. DIAGRAMA T-S

Este tipo de análisis fué hecho para conocer la forma que esta curva presenta hasta las máximas profundidades muestreadas, y así identificar por primera vez en esta zona algunas de las masas de agua, con base en sus índices termohalinos.

Se desecharon varias estaciones para este análisis debido al comportamiento inestable que presentaban sus curvas T-S, reflejo de fenómenos como ondas internas ó eddies (inclusive errores en el muestreo). Sin embargo, si son estudiadas (y por lo tanto la mayoría de las estaciones consideradas) en el caso de las isolíneas horizontales de los parámetros.

La figura 5 muestra una curva típica para esta zona, observándose dos masas de agua:

- Agua Subtropical Intermedia, caracterizada por un máximo de salinidad (alrededor de 36.8 ‰ y temperatura entre los 22 °C y 24 °C) localizada entre los 75 y 150 metros de profundidad. Esta masa de agua penetra en

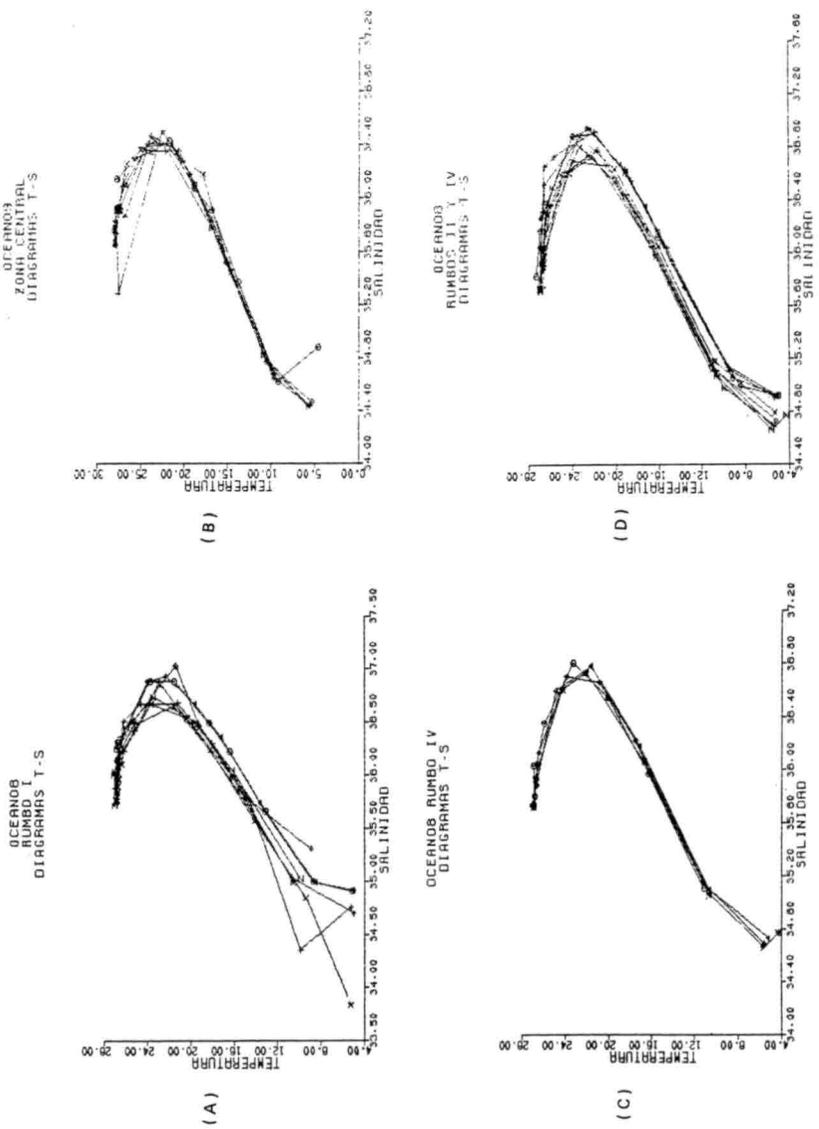


FIGURA 5. Diagramas T-S típicos del área de estudio, se observa un máximo y un mínimo de salinidad correspondiente al Agua Subtropical Intermédia (A.S.I.) y al Agua Intermédia Subantártica (A.I.S.), respectivamente.

el Caribe por los pasos del norte de las Antillas Menores.

- Agua Intermédia Subantártica, que se caracteriza por un mínimo de salinidad (alrededor de los 35 ‰ y temperatura de 5 °C) a una profundidad promedio de 700 metros. En algunas ocasiones esta masa de agua no pudo determinarse claramente debido a que los muestreos no se hicieron a la suficiente profundidad para definirla (observándose mejor en los cruceros OCEANO VI y OCEANO VIII). Esta masa de agua penetra principalmente por los pasos del sur de las Antillas Menores.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al comparar entre los diagramas de un mismo crucero (variaciones espaciales) y después los diagramas de diferentes cruceros (variaciones temporales), los que junto con el comportamiento observado en las isolíneas horizontales de los diferentes parámetros estudiados, permitirán obtener una mejor visión de la oceanografía física descriptiva de la región.

A. VARIACIONES ESPACIALES

Las comparaciones usadas para ver las variaciones espaciales están limitadas porque no todas las estaciones fueron muestreadas en cada uno de los cruceros.

Los cuatro transectos del crucero OCEANO VI son semejantes entre sí, lo que muestra un comportamiento bastante uniforme de la distribución de las masas de agua de la región (figura 5 A).

El mismo fenómeno lo presenta el OCEANO IX, aunque las estaciones muestreadas en éste son muy pocas. En la figura 5 B aparece el perfil de la zona central del OCEANO IX; al igual que la figura 6 compara la zona norte con la sur del área de estudio, del OCEANO VI.

Los cruceros OCEANO VII y VIII presentan variaciones espaciales interesantes (figuras 7 y 8), ya que la región sur de las dos tienen perfiles ligeramente diferentes, indicadores de columnas de agua con propiedades físicas distintas a las del área.

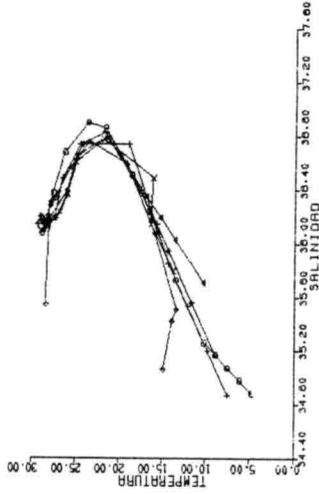
En el OCEANO VII se observó que esta nueva zona llega aproximadamente a los 14 °N, como se ve en las figuras 7A-C, en donde las estaciones 25, 26, 41 y 51 presentan un perfil semejante, aunque no tan uniforme como las estaciones arriba de los 15 °N : 38, 58, 59, 70, 72 y 77.

En el OCEANO VIII esta diferencia aparece un poco más al sur, ya que sólo se observa hasta los 13 °N, siendo la zona sur formada por las estaciones 25, 44, 45, 48 y 63; pero a diferencia del OCEANO VIII, ahora la más uniforme es la del sur (figura 8 A-B).

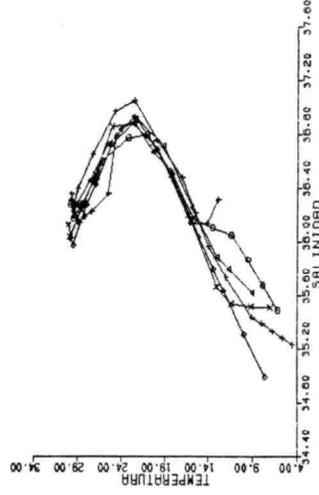
Si comparamos las estaciones del transecto II, vemos cómo las 67 y 69 muestran diferencias debido a que son características de la zona norte. En ningún caso se observó una zona de transición entre la parte norte y la sur (figura 8C).

Nótese que al referirse a la parte norte o sur, se está señalando prácticamente donde empiezan los cayos y bancos hacia el este, donde todavía se

OCEANO VI
ZONA NORTE (75-76-79-80)
DIAGRAMAS T-S



OCEANO VI
ZONA SUR (75-78-43-48-63)
DIAGRAMAS T-S



OCEANO VI
INFLUENCIA DE LA ZONA SUR
DIAGRAMAS T-S

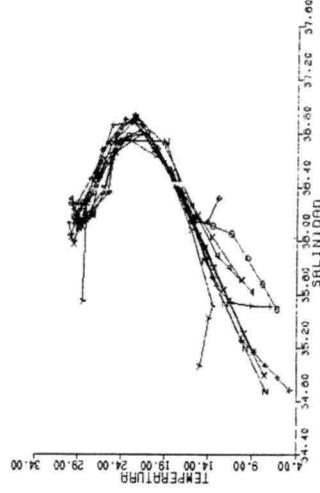
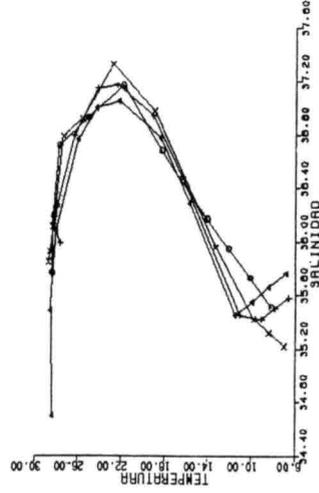
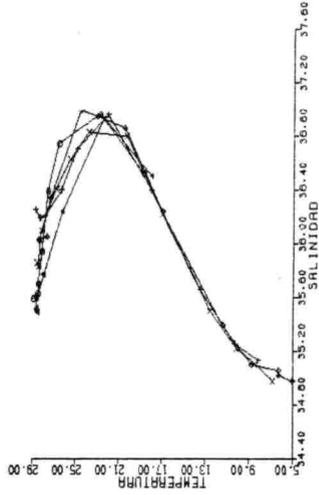


FIGURA 6. Influencia de la zona sur en el comportamiento de los perfiles del Océano VI. Nótese que prácticamente no se puede determinar un patrón diferente.

OCEANO VII
ZONA SUR (25-26-41-51)
DIAGRAMAS T-S



OCEANO VII
ZONA NORTE (72-77-58-59-38)
DIAGRAMAS T-S



OCEANO VII
INFLUENCIA DE LA ZONA SUR
DIAGRAMAS T-S

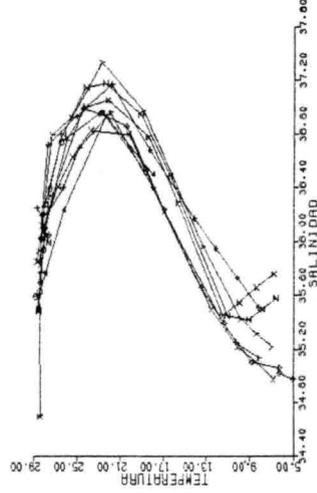
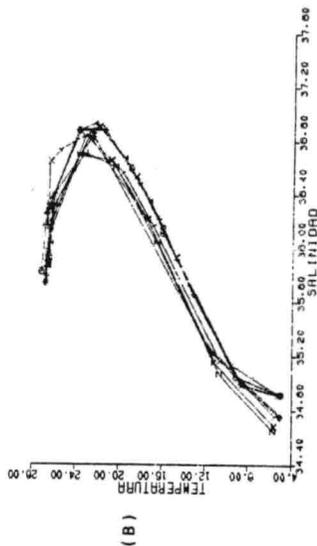
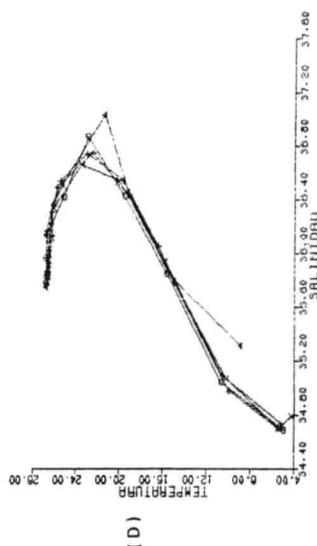


FIGURA 7. Comparación norte-sur de los diagramas T-S del Océano VII. En (B) se observa como la parte norte es más uniforme que la sur.

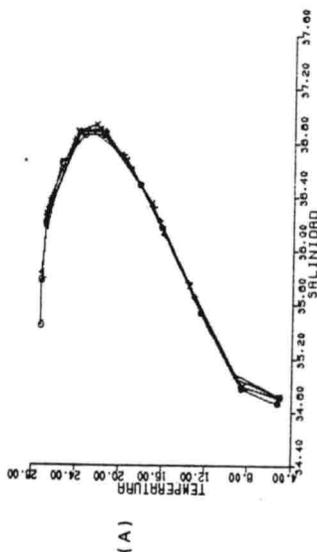
OCEANO VIII
INFLUENCIA DE LA ZONA SUR
DIAGRAMAS T-S



OCEANO EXTERIOR
ZONA INTERIOR DE LA REGION DE ESTUDIO



OCEANOS
ZONA SUR
DIAGRAMAS T-S



OCEANO VIII
ZONA SUR DE LA REGION DE ESTUDIO

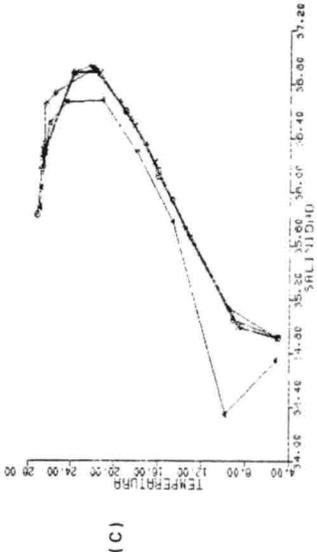


FIGURA 8. Analisis de los diagramas del Océano VIII. (A) Zona sur del crucero, que deja ver su uniformidad. (B) Comparación entre la zona norte-sur, apreciándose una diferencia bien marcada. (C) El transecto II muestra cómo las estaciones 67 y 69 se salen del perfil debido a que son parte de la zona norte. (D) En la comparación entre región exterior e interior no se encontraron diferencias.

tiene una profundidad aproximada de unos 1500 m , siendo en realidad el noreste y el sureste las zonas con variaciones espaciales.

En el OCEANO VIII se compararon las estaciones al este de banco Serrana y cayo Roncador (zona exterior), con las del oeste de dichas puntas (zona interior, más influenciada por la topografía de las islas), sin aparecer diferencias marcadas como se vé en la figura 8D .

De igual manera se comparó la zona central, en los cuatro cruceros, sin haber encontrado variaciones espaciales en las curvas de éstos.

B. VARIACIONES TEMPORALES

También en este caso las comparaciones que permiten ver las variaciones temporales están limitadas por el hecho de que no todas las estaciones fueron muestreadas en los cuatro cruceros. Esto permitió que sólo el OCEANO VI y VIII pudieran ser comparados en los cuatro transectos, mientras que en los otros cruceros sólo se compararon aquellos transectos donde había muestreos. El comparar esos dos cruceros nos permite conocer las variaciones que se presentan entre los dos períodos climáticos existentes en el Caribe.

Volviendo a analizar la parte sur de los cuatro cruceros, se encontró que la única estación del OCEANO VI que presenta un perfil como los de la parte sur del OCEANO VII y VIII es la estación 23.

Al comparar la zona sur (en realidad zona sureste) de los cruceros OCEANO VII y VIII se observa cómo presenta una disminución en el último crucero, lo cual se podría explicar si conociéramos con mayor exactitud el patrón de circulación de esta región, en donde se alcanza a sentir el efecto del giro ciclónico que existe entre Panamá y Colombia. Según los Pilot Charts (1982) este efecto sufre un desplazamiento norte - sur, dependiendo de la época del año de que se trate.

En la figura 9A se compara la zona sur del OCEANO VII y VIII, notándose que entre ellas también existen diferencias, siendo más uniforme la del OCEANO VIII. Estas diferencias motivaron una comparación entre las zonas norte y sur de los cruceros, cuyo comportamiento observado está resumido en las figuras 9 B y 10.

Para el caso del OCEANO VI se observó que tiene un perfil semejante al de la parte sur del OCEANO VIII, pero en forma general, ya que el crucero no es tan uniforme como los otros.

En la figura 11 se muestran las comparaciones entre los perfiles del OCEANO VI (período lluvioso) y el OCEANO VIII (período seco), que muestran claramente la diferencia existente entre ambos, presentándose una variación en toda la columna y no sólo en la capa superficial como sería lo normal.

III. ISOLINEAS HORIZONTALES

El objetivo de realizar este tipo de procesado era especialmente observar los gradientes existentes para tener así una mayor visión de sus efectos

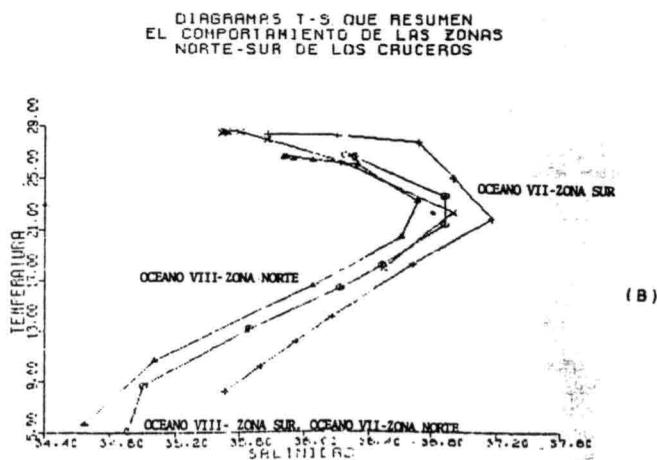
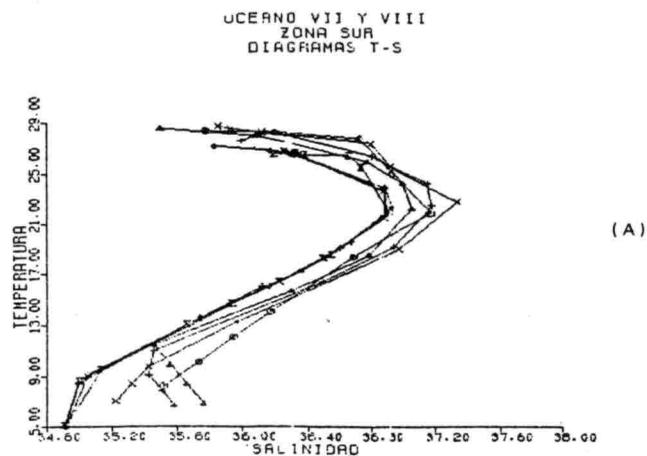


FIGURA 9. (A) Zona sur del Océano VII y VIII. (B) Comportamiento resumido de las zonas norte-sur de los cruceros.

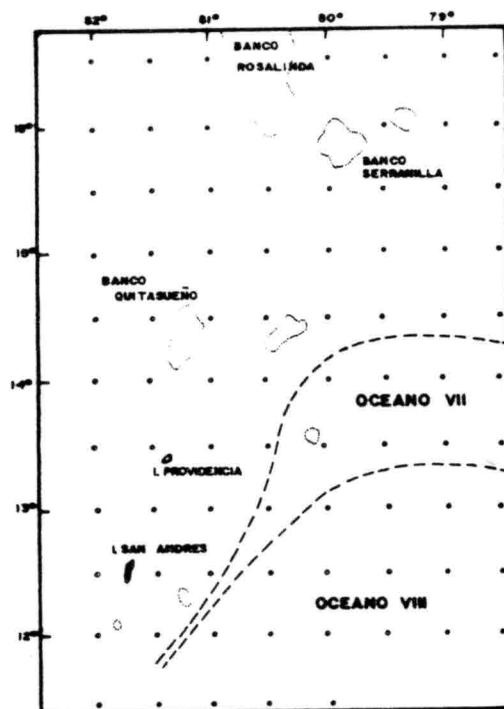
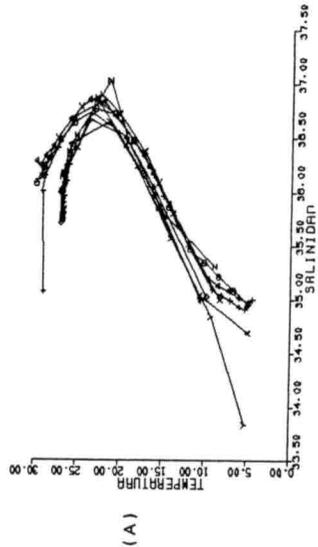


FIGURA 10. Zona donde se observó una variación en el diagrama T-S tanto del Océano VII como del VIII. Este fenómeno puede estar relacionado con la intensificación o desplazamiento que sufre el giro ciclónico del Suroeste del Caribe.

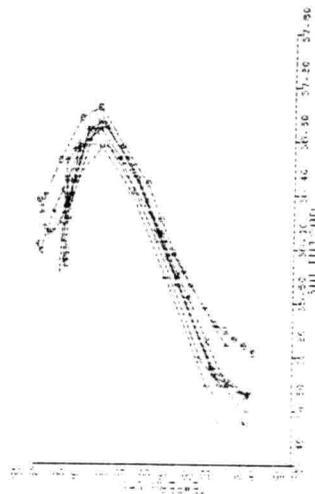
y fenómenos a mesoescala, como los eddies.

En el presente trabajo únicamente se incluyen las isólinas horizontales de temperatura y salinidad, analizando las variaciones espacio-temporales de éstas.

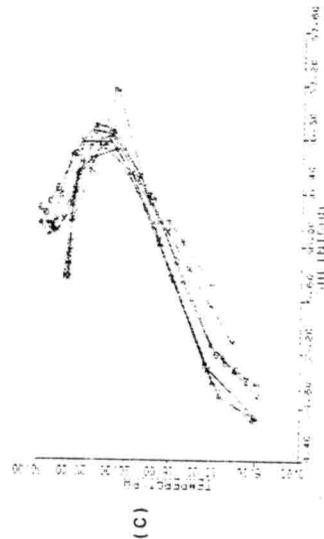
Haciendo primero una comparación de las temperaturas superficiales de los cruceros (Figuras 12 y 13), se observó que los mayores valores los presenta el OCEANO VI (verano), disminuyendo en el OCEANO VII y VIII (que presenta los más bajos), para después aumentar en el OCEANO IX. En todos ellos las mayores temperaturas superficiales están en la parte suroeste habiendo sido el OCEANO VI el de mayores variaciones.



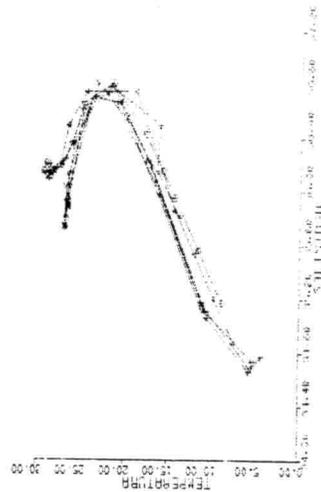
(A)



(B)



(C)



(D)

FIGURA 11. Comparación de los perfiles del Océano VI y VIII. En los cuatro rumbos se alcanza a observar un ligero desplazamiento de una curva con respecto a la otra, mostrando así una variación estacional posiblemente relacionada con la circulación del giro ciclónico del Caribe.

Las temperaturas más bajas para todas las profundidades y en los cuatro cruceros, se encontraron por lo general, en el suroeste (en algunas ocasiones en todo el sur) y las más altas en la parte noreste.

En cuanto a la salinidad superficial, el gradiente horizontal más fuerte lo presenta el OCEANO VII, con una región en el suroeste con salinidades menores de 34 ‰ (figura 14), que se debería a la influencia de las aguas de menor salinidad con origen en las lluvias que ocurren en las costas centroamericanas.

Analizando las isolíneas de temperatura a 150 m (figura 15), se observa en los cuatro cruceros un gradiente que va desde los 18 °C a los 24 °C en los cuatro cruceros, con un aumento de sur a norte, que es más uniforme en los OCEANOS VIII y IX. El OCEANO VI es el que presenta mayores irregularidades.

En la figura 16 tenemos otra vez lo observado en los diagramas T-S; las diferencias existentes, por ejemplo, entre el OCEANO VI y OCEANO VIII (figuras 16 A y C). Nótese cómo la isoterma de 13 °C que en el OCEANO VI está entre los 13 y 14° N, en el OCEANO VIII se encuentra entre los 11 y 12° N; lo que se volvió a observar a los 500 m.

DISCUSIONES

En primer lugar hay que señalar que uno de los objetivos del estudio de los parámetros físicos de esta zona era tratar de conocer la circulación local con base en cálculos geostroficados, pero se consideró que debido a la topografía existente, la aproximación geostrofica no se cumpliría, ya que se crean aceleraciones sobre las elevaciones y estrechos. Para resolverlo, EMILSSON (1971) propone mediciones directas de corrientes en el área de la elevación de Nicaragua. Todo esto originó que, el trabajo hablará únicamente de la oceanografía física descriptiva del archipiélago.

Los estudios de la circulación oceánica en esta área, resolverían el porqué del comportamiento tan diferente que presentan los cruceros entre sí, en especial entre los OCEANOS VI y VIII. En una primera aproximación, se puede explicar esto debido a la intensificación ó desplazamiento del giro ciclónico existente en la parte suroeste del Caribe, que originaría la presencia de perfiles T-S diferentes. Esto puede ser una explicación, pero será necesario comparar antes mediciones de los equipos usados, porque no se debe olvidar que se usó el mismo método de muestreo en los cuatro cruceros, habiendo podido introducirse un error sistemático.

Como se ve, no se reportan eddies, debido a la densidad de muestreo, ya que en el OCEANO VII, se determinó y siguió la existencia de uno, con el empleo de XBT, determinándose un diámetro aproximado de 40 a 250 m de profundidad.

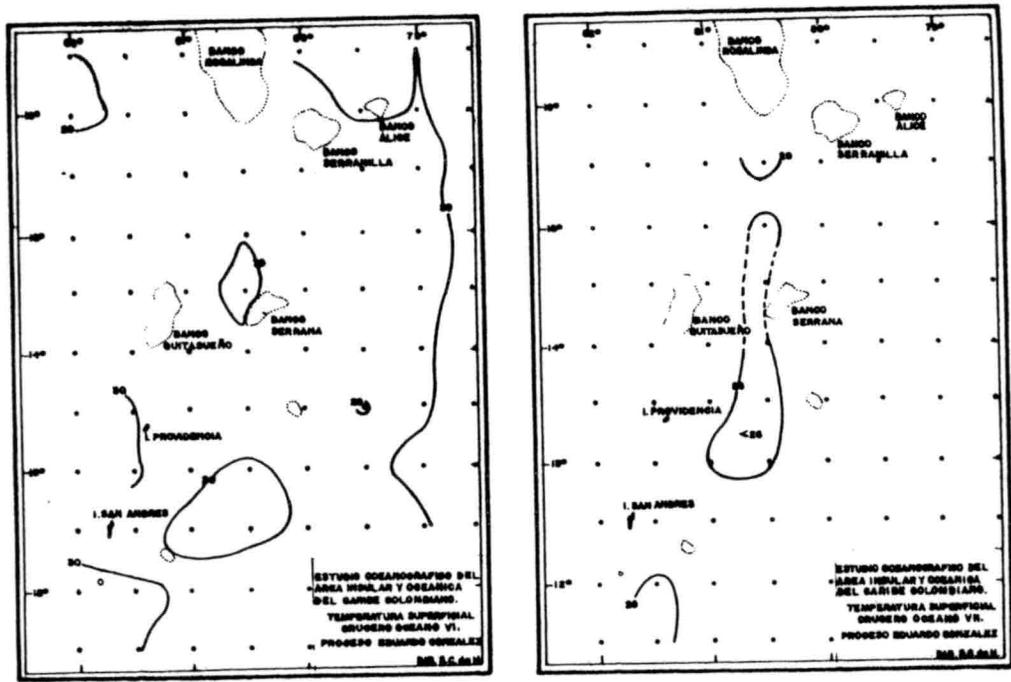


FIGURA 12. Isotermas superficiales de los cruceros Océano VI y VII, observándose una disminución de la temperatura de este último. Los mayores valores estan en el Suroeste del área.

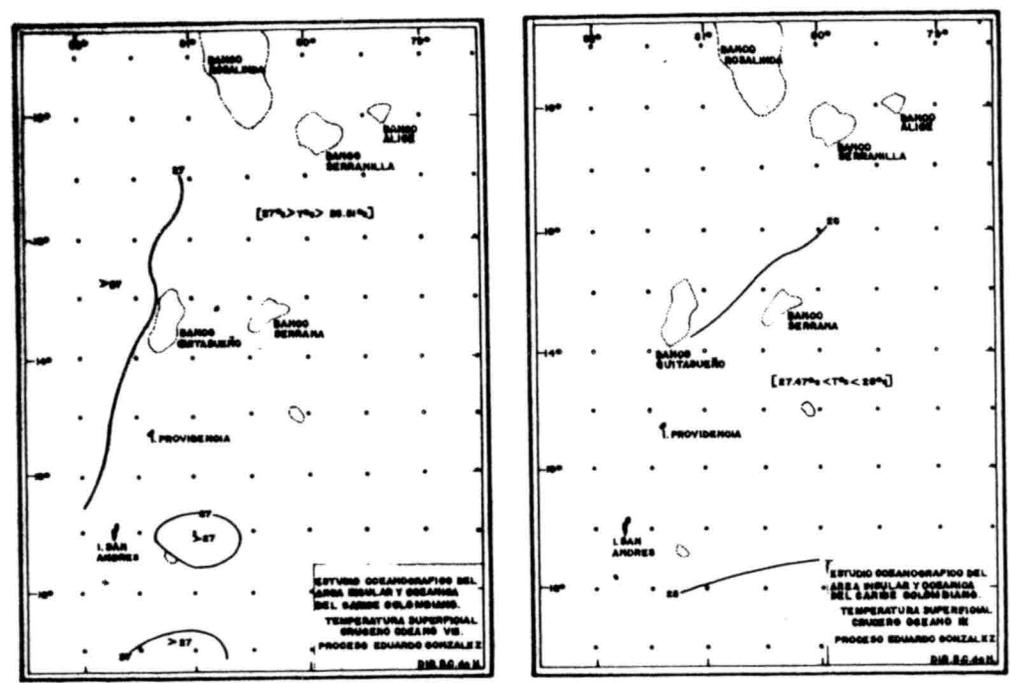


FIGURA 13. Isotermas superficiales de los cruceros Océano VIII y IX, viéndose un comportamiento normal de las variaciones estacionales.

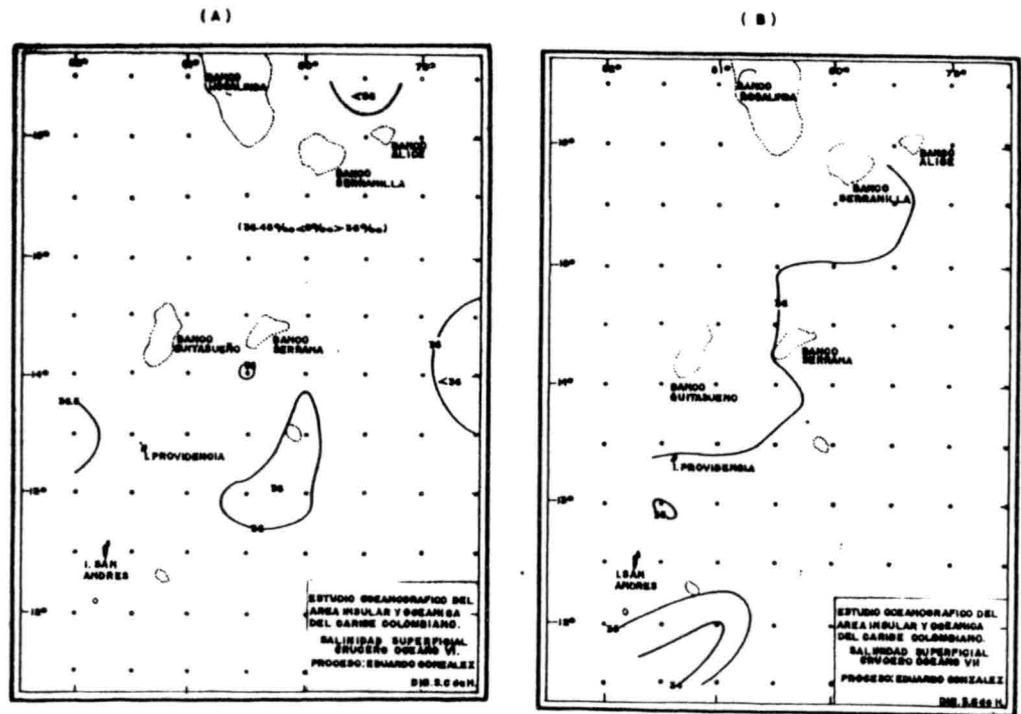
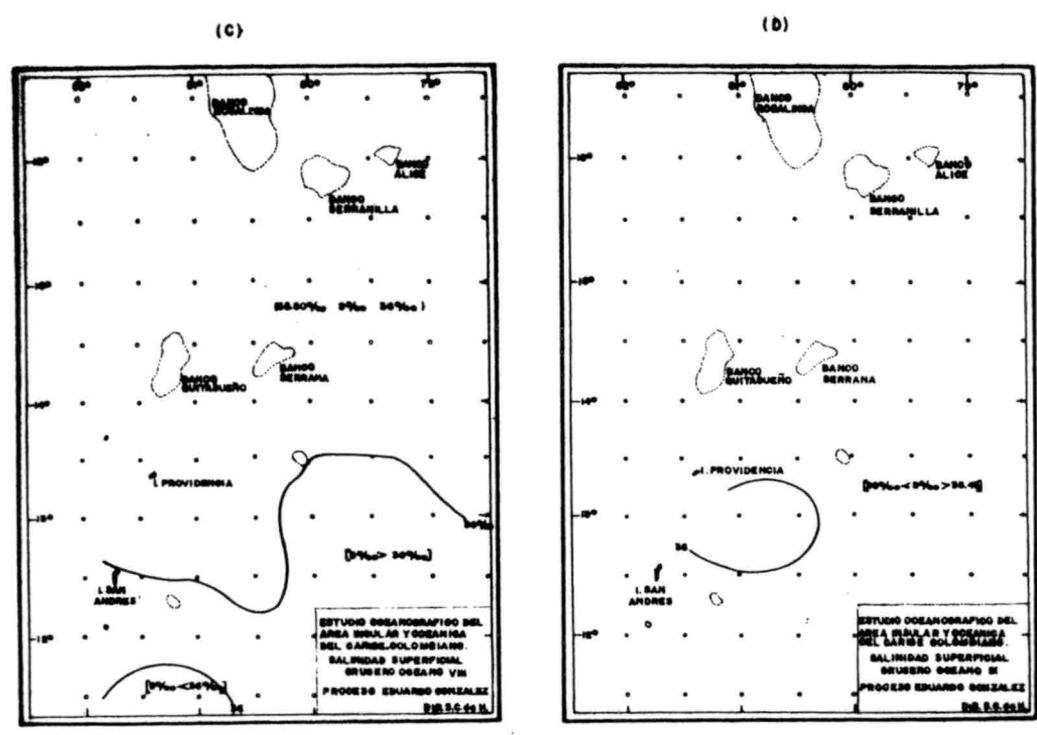


FIGURA 14. Isohalinas superficiales de los cuatro cruces. En (B) se observa una región de menor salinidad en el Suroeste, cuyo origen puede ser la precipitación existente en la costa centroamericana.



Continuación FIGURA 14.

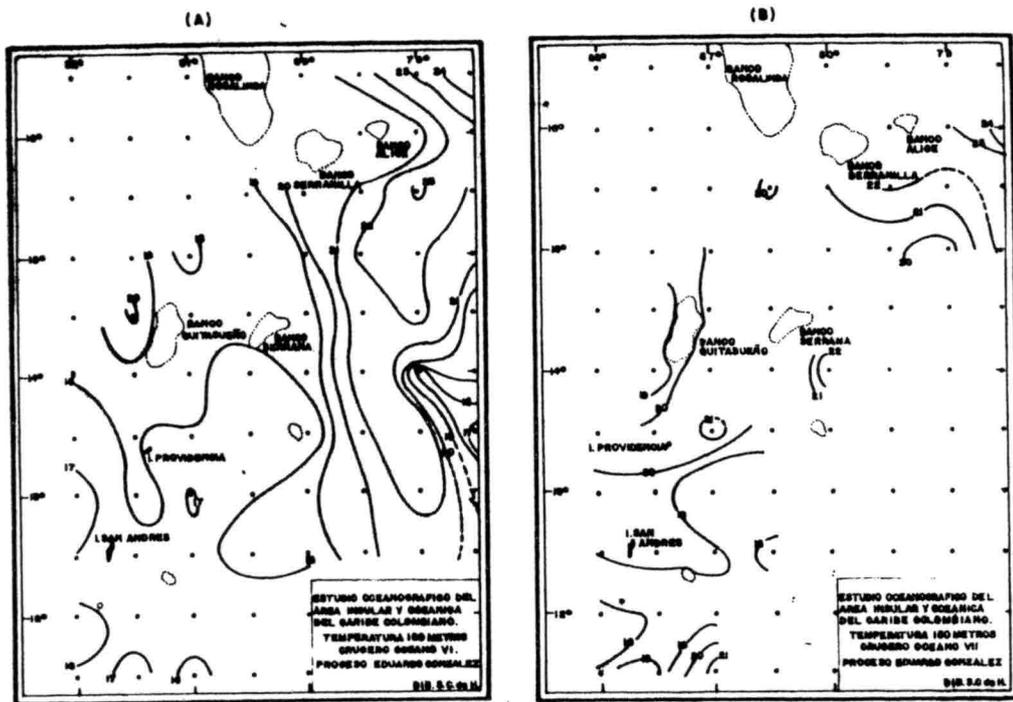


FIGURA 15. Isotermas de 150 m de profundidad de los cuatro cruces. Presentan un gradiente norte-sur; siendo el Océano VI (A) el que presenta mayores irregularidades.

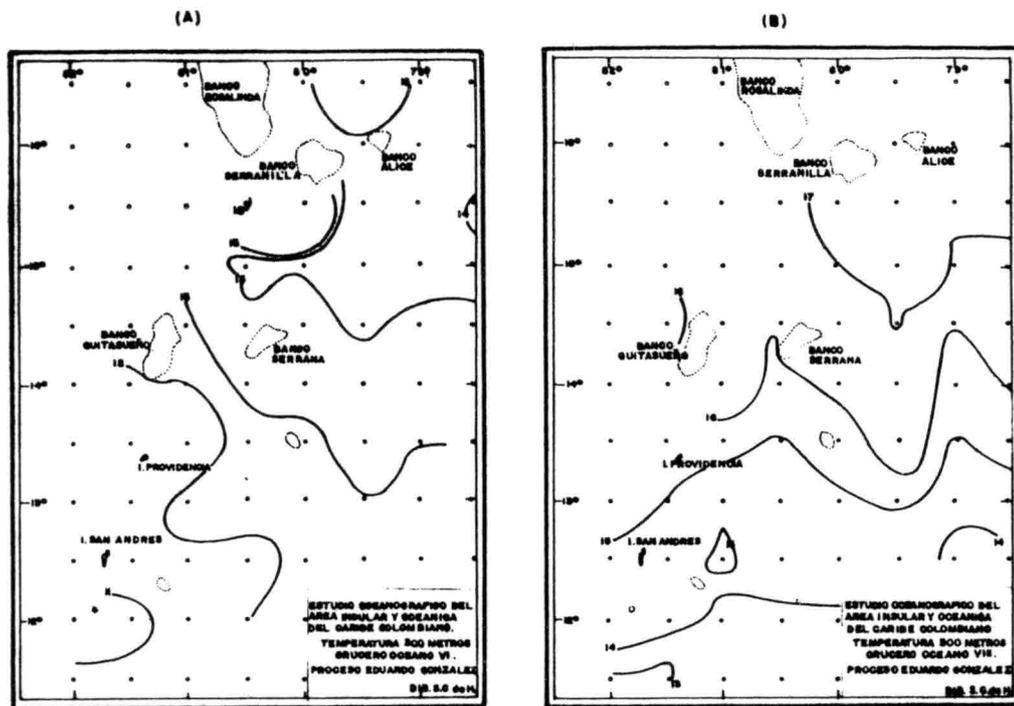


FIGURA 16. Isotermas de 300 m de los cruces Océano VI (A) y VIII (B). Se observan las diferencias, que también aparecen en los diagramas T-S, representados por el desplazamiento del perfil típico; obsérvese la isoterma de 13°C.

CONCLUSIONES

Se presentó un análisis general de la oceanografía física descriptiva del área del archipiélago de San Andrés y Providencia, mostrando las principales variaciones espacio-temporales de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y sigma-t de los cuatro cruceros.

Se encontró básicamente que los cruceros OCEANO VI y IX representan las condiciones existentes en el verano del Caribe, mientras que el OCEANO VIII las de invierno y el VII la transición entre ambos períodos.

Partiendo de la existencia de un flujo principal a lo largo del Caribe con dirección oeste que al llegar alrededor de los 80°W se desvía hacia el noroeste, se obtuvo un diagrama T-S típico para la zona, producto de la interacción de las masas de agua que se mencionarán después a lo largo de su desplazamiento por la cuenca del Caribe. Al mismo tiempo se detectó una variación (espacial) en el perfil de la parte sureste del OCEANO VII, que se vuelve a encontrar, pero ligeramente más al sur, en el OCEANO VIII (variación temporal). El origen de esta diferencia se podría explicar si conociéramos con detalles el sistema de circulación local, pudiendo existir una relación con el giro ciclónico de la parte suroeste del Caribe y su desplazamiento o intensificación durante el año.

Se encontró un perfil vertical de la temperatura típica del Caribe, con una termoclina que alcanza a llegar a los 200 m y prácticamente sin capa de mezcla. Las masas de agua observadas corresponden a las determinadas por otros autores para el Caribe, a excepción del agua del mar de los Sargazos. Las encontradas son: Agua Superficial del Caribe con una salinidad alrededor de 36 ‰ y temperatura de 29.1 °C para el verano, mientras que en el invierno son de 35.9 ‰ y 26.9 °C respectivamente. Estos valores se consideran en general como normales, y con un espesor aproximado de 75 m; Agua Intermedia, con un máximo de salinidad de 36.8 ‰ (temperatura entre 22 y 24 °C), localizada entre los 75 y 150 m; Agua Central del Atlántico Tropical, caracterizada por un mínimo de oxígeno disuelto entre los 150 y 700 m; Agua Intermedia Subantártica, mínimo de salinidad de 35 ‰ y temperatura de 5 °C, desde una profundidad de 700 m.

No se determinaron masas más profundas debido a que los muestreos llegaban en promedio hasta los 1000 m.

En el caso del origen de la capa superficial de menor salinidad, el análisis de la concentración de silicatos servirá para determinarlo, previéndose una cierta influencia de la costa centroamericana.

RECOMENDACIONES

Dos caminos interesantes se pueden seguir después de este trabajo. Por un lado conocer la interrelación entre los parámetros físicos, químicos y biológicos que configuran el ecosistema local y por otro lado tratar de verificar la zona Sur determinada en los cruceros OCEANO VII y VIII, con base en cruceros anteriores, para planear así los futuros.

En relación con las próximas investigaciones físicas en el área, habrá que desarrollarlas dándole mayor prioridad a la obtención de parámetros meteorológicos y mediciones de corrientes, que se establecerán más fácilmente con algún método lagrangiano.

BIBLIOGRAFIA

- ATWOOD, D. K., La Oceanografía regional con respecto a los problemas actuales de la contaminación y de los recursos vivos- Caribe. Comisión Oceanográfica Intergubernamental. Trabajo no. 11, 1977.
- DEFENSE MAPPING. AGENCY HYDROGRAPHIC CENTER. Pilot charts Atlantic ocean. Washington, D. C., 1982.
- EMERY, W. J., DEWAR, J. S., Mean temperature - salinity - depth and temperature - depth curves for the North Atlantic and the North Pacific. Progress in Oceanography v. 11 Number 3. 1982.
- GORDON, A. L., Circulation of the Caribbean sea. Journal of Geophysical Research 72, 24 p 6207 - 6223. 1967.
- METCALF, W. G., Water exchange between the Atlantic ocean and the Caribbean sea. CICAR II. FAO, Informe de Pesca no. 200. 1978.
- MOLINARI, R. L., et al. Surface currents in the Caribbean Sea as deduced from lagrangian observations. Journal of Geophysical Research v. 86 no. C7. p 6537 - 6542. 1981.
- MORRISON, J. M., NOWLIN, W. D., General distribution of water masses Within the Eastern Caribbean sea during the winter of 1972 and fall of 1973, Journal of Geophysical Research v. 87 no. C6. p. 4207 - 4229. 1982.
- PERLROTH, I., Distribution of mass in the near surface water of the Caribbean. Coloquio sobre Investigaciones y Recursos del Mar Caribe y Regiones Adyacentes. UNESCO. 1971.
- STURGES, W., Water characteristics of the Caribbean sea. J. Marine Research 23,2 p 147 - 162. 1965.
- WORTHINGTON, L. V., Water circulation in the Caribbean sea and its relationship to North Atlantic circulation. Coloquio sobre Investigaciones y recursos del Mar Caribe y Regiones Adyacentes. UNESCO. 1971.
- WUST, G., On the stratification and the circulation in the cold water sphere of the Antillean - Caribbean Basins. Deep-sea. Research v. 10 no. 3. 1963.
- WUST, G., Stratification and circulation in the antillean - Caribbean Basins Columbia University Press. 1964.