

Bol. Cient. CIOH	Cartagena de Indias (Colombia)	No. 13	Enero 1993	Pág. 19 - 32	ISSN 0120 0542
---------------------	-----------------------------------	--------	---------------	--------------	----------------

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS DEL CARIBE COLOMBIANO, REGION III, ZONA 1, PDCTM

Por:

CC. Edgar Cabrera Luna

María Concepción Donoso



*Capitán de Corbeta. Oceanógrafo Físico.
Decano Facultad Oceanografía Física
Escuela Naval "Almirante Padilla".*

RESUMEN

El estudio de la variación estacional y espacial de las condiciones oceanográficas del mar Caribe constituye un factor importante en el desarrollo de los Planes Nacionales de Ciencia y Tecnología del Mar en Colombia (PDCTM, 1990-2000) en cuyo contexto se enmarca el presente documento.

En este trabajo se integran los resultados preliminares de observaciones tomadas durante el crucero Caribe I realizado en el Caribe colombiano (Región III, Zona 1, PDCTM) en la época de transición entre las estaciones seca-lluviosa de 1992.

Se analizan datos registrados en 24 estaciones oceánicas desde la superficie hasta 1000 metros de profundidad, obteniendo la distribución de las propiedades físico-químicas salinidad, oxígeno, temperatura y nutrientes, e identificando las masas de agua que conforman la región estudiada. Se demarca el área de influencia del sistema de surgencia.

Como resultado del experimento de interacción océano-atmósfera, se analiza el comportamiento de la capa de mezcla en la región. Los registros de la variación diaria de la capa de mezcla se utilizan para validar un modelo numérico unidimensional que simula la evolución de la estructura térmica del estrato superior del océano.

Las conclusiones presentadas amplían el conocimiento actual en torno a la oceanografía del mar Caribe y a la vez sirven de base para estudios futuros de la circulación general del Mediterráneo Americano.

ABSTRACT

The study of the seasonal and spatial variability of the oceanographic conditions of the Caribbean sea represents an important factor in the development of national plans in technology and science of the sea in Colombia. In this context, the following document is presented.

Preliminary results are derived from the measurements taken during transition period between the dry and wet seasons of 1992.

The data registered in 24 stations are analysed for the upper 1000m. The distribution of the physico-chemical properties salinity, oxygen content, temperature and nutrients are evaluated. The water masses within the study region are identified. The area of influence of upwelling is inferred.

As a result of the air-sea interaction experiment, the variability of the mixed layer was analyzed. The obtained daily variations of the mixed layer were used to validate a one-dimension numerical model that simulates the evolution of the thermal structure of the upper layer of the ocean.

The outcome of this study will contribute to a better understanding of the different oceanographic characteristics of the Caribbean sea. The present work will serve as a departure point for more general circulation studies of the American mediterranean.

INTRODUCCION

Los primeros juegos de data que permitieron una descripción general de las características de las aguas del mar Caribe fueron obtenidos durante los cruceros del Atlantis (1933-35) y del Crawford (1958). Usando registros de estos cruceros, Wust (1964) presenta la distribución vertical de salinidad y del oxígeno para estaciones en las regiones centrales de las subcuencas mayores. De un análisis se deduce que las aguas en los primeros cientos de metros de profundidad son cálidas y saladas (Agua Subtropical Subsuperficial) y por debajo de los 500 m se puede distinguir la presencia del agua que identifica como "Agua Subantártica Intermedia", de baja salinidad. Sturges (1956) realizó un estimado cuantitativo de las cantidades de diferentes tipos de aguas de acuerdo a las correlaciones T-S. Febres y Herrera (1976) analizaron la circulación durante

el invierno boreal y la distribución de los tipos de agua en los primeros 1200m usando el método de superficies isanostéricas.

En Colombia, el estudio del caribe se inicia con los cruceros OCEANO (OCEANO I, 1969 a OCEANO IX, 1984). Durante el período 1972-1973, se desarrollaron tres cruceros, CICAR I, II y III, que recorren el transecto Colombia - Haití - Jamaica.

La primera evaluación en Colombia del sistema de surgencia costera en las proximidades de la península de la Guajira fue realizada por Fajardo (1978). En 1981, Corredor presenta el análisis de la circulación costera en el Caribe noroccidental colombiano. La influencia de la contracorriente Panamá - Colombia para la circulación de las aguas en la plataforma continental fue referida por primera vez por Pujos et al (1986). Con la presentación de la dinámica de circulación de las aguas del mar Caribe, Donoso (1989) analiza la contracorriente

de Panamá - Colombia destacando su variabilidad, zona de influencia y su interacción con las aguas del sistema de surgencia colombiano.

Como resultado de las deliberaciones ocurridas en el marco del VII Seminario Nacional en Ciencias y Tecnologías del Mar (CCO-Cali, 1990), se identifica como de especial interés para el desarrollo de la investigación científica nacional el estudio de las variaciones espaciales y temporales de los parámetros físico-dinámicos en el Caribe, lo que motiva la realización de proyectos en esta región, en especial en colaboración con entidades extranjeras de reconocido nivel académico y científico. En este contexto, el crucero Caribe I, realizado del 20 de abril al 03 de mayo de 1992, abordo del ARC "MALPELO", es el primero de los cruceros con plataformas colombianas desarrollados como parte de un programa de investigación conjunta con la Universidad de Miami, USA.

Paralelamente, en marzo de 1992, la Universidad de Miami realizó el crucero CaribVent II con participación científica de Colombia. Durante el crucero Caribe Vent II, abordo del R/V Columbus Iselin, se tomaron 20 estaciones oceanográficas, a máxima profundidad, en aguas del Caribe colombiano. El objetivo general de este proyecto multilateral de investigación es el de contribuir a un mejor entendimiento de la ventilación de la cuenca del Caribe (Rooth y Fanning, 1989) así como de la dinámica regional, con base en las observaciones de una extensa red de muestreo cubierta en diferentes estaciones climáticas del año 1992.

El presente documento integra los resultados preliminares de observaciones tomadas durante el crucero Caribe I realizado en la Región III, Zona 1, PDCTM. El trabajo se estructura en la forma siguiente:

La sección 2 introduce los instrumentos y metodologías usados durante el proceso de recolección de los datos. Las condiciones meteorológicas registradas durante el crucero se

presentan en la sección 3. Los datos de las observaciones hidrográficas se muestran en la Sección 4. En la sección 5, se hace un breve análisis de la surgencia en la zona próxima a la Guajira. Los resultados del experimento de interacción océano-atmósfera, así como la comparación de éstos con los generados por un modelo numérico unidimensional, se analizan en la sección 6. Finalmente, en la sección 7 se discuten los resultados y se presentan conclusiones y sugerencias para trabajos futuros.

INSTRUMENTOS Y METODOLOGIAS

Durante el crucero Caribe I, se completaron 24 estaciones oceanográficas comprendidas entre las longitudes 71° W y 75.5° W y las latitudes 11° N y 13° N (Región III, Zona I PDCTM). El derrotero recorrido se muestra en la Figura 1.

En todas las estaciones se efectuaron las siguientes mediciones: temperatura, conductividad y transparencia del agua de mar. En cada una de las estaciones señaladas para toma de muestras de agua con botellas Nansen e indicadores biológicos se efectuaron adicionalmente mediciones de oxígeno, salinidad, nutrientes, silicatos y plancton (Fitoplancton - Zooplancton).

Parámetro	Sensor
Temperatura-Conductividad	CTD SEA BIRD SBE 19
Temperatura superficial	Termómetro de Cazoleta
Transparencia	Disco Secci
Oxígeno	Oxímetro-método WINKLER modificado
Salinidad	Salinómetro Beckman RS-76
Nutrientes - Silicatos	
Fito - Zoo-Plancton	

Tabla 1. Parámetros Registrados.

En forma horaria, se registraron parámetros meteorológicos de superficie: Temperatura del aire (seca-húmeda), velocidad y dirección del viento, radiación, nubosidad, presión atmosférica.

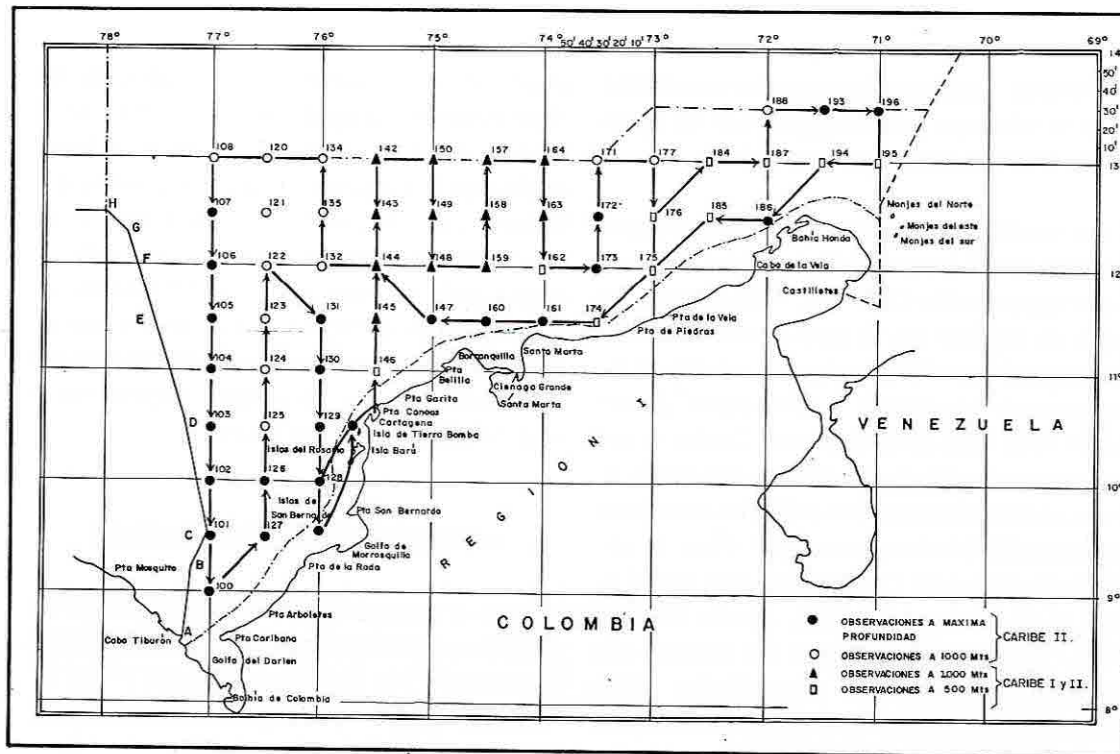


Figura 1. Crucero CARIBE I Abril-Mayo/92.

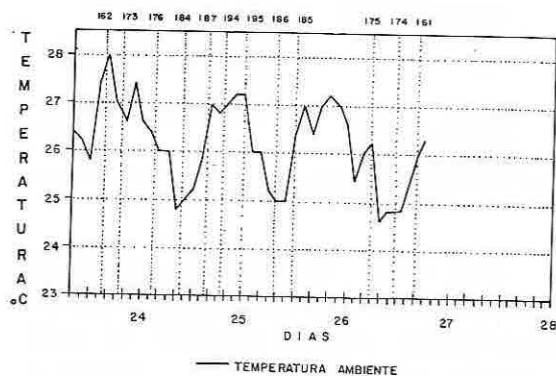
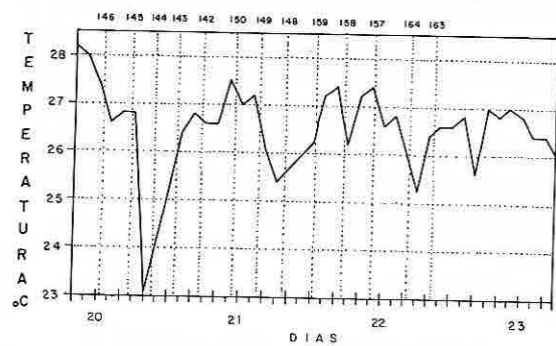


Figura 2. Crucero CARIBE I Abril-Mayo/92
Temperatura Ambiente.

PROMEDIOS DE PARAMETROS METEOROLOGICOS CARIBE I												
DIAS PROMEDIO	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30	01	PROM. GEN.
TEMP. AIRE (°C)	27.32	25.93	26.72	25.34	26.58	26.30	26.23	25.34	25.77	26.42	26.32	26.20
PRES. ATM. (Hp)	1012.2	1012.7	1015.0	1015.0	1013.0	1012.5	1012.9	1015.7	1014.3	1013.3	1014.4	1013.7
HUM. REL. (%)	90	88	87	86	88	88	88	90	91	88	89	88.3
NUBOSIDAD (DECIMOS)	6.3	5.2	5.6	5.5	7.5	6.5	6.3	6.4	6.3	5.7	4.9	6.2
VELOCIDAD VIENTO (Mts/seg)	5.7	7.2	8.2	7.3	7.5	5.2	6.4	4.5	5.4	3.7	4.6	6.0

Diariamente se recibió información del facsímil meteorológico radiado de la estación de Norfolk.

En la estación 163, se efectuó un ejercicio de interacción océano-atmósfera, permaneciendo la unidad oceanográfica en la estación durante 24 horas, registrando en forma horaria tanto los parámetros meteorológicos como los oceanográficos.

Las mediciones de conductividad, temperatura y presión, realizadas con el perfilador CTD SEA BIRD SBE 19, fueron procesadas con el paquete de programas SEASOFT, proporcionado por el fabricante; se efectuaron las correcciones y calibración de acuerdo a las condiciones de diseño.

El procesamiento de la información fue ajustado a los estándares internacionales aprobados por UNESCO. La presentación de gráficos y escalas fue uniforme con la efectuada durante el crucero CaribVent II para permitir su correlación y utilización conjunta.

CONDICIONES METEOROLOGICAS

Los valores de la presión atmosférica observados

durante el crucero indican una media de 1013.75 mb y valores máximos de 1017.5 mb y mínimos de 1010 mb.

La temperatura del aire media durante el crucero fue de 26.2 °C con un máximo de 28.8 °C y un mínimo de 23 °C, valores que coinciden con los promedios históricos para el mes de abril (26.6 °C); la humedad relativa fue en general alta, con una media de 88% y valores máximo de 98% y mínimo de 80%, característicos en las proximidades de la estación invernal (lluviosa), presentándose esto como un indicador de los altos índices de evaporación. (Figura 2).

Se observó el predominio de los vientos Alisios del noroeste. Las estadísticas se dan en la tabla 2.

Velocidad	%	Dirección	%
0 - 3 m/seg	14.2	N (338 - 022)	12.2
3.1-6 m/seg	38.7	NE (023 - 067)	47.9
6.1-9 m/seg	38.7	E (068 - 112)	38.2
9.1-12 m/seg	8.4	SE (113 - 157)	1.8

Tabla 2. Velocidad y Dirección del viento

La máxima velocidad del viento fue de 13 m/seg y

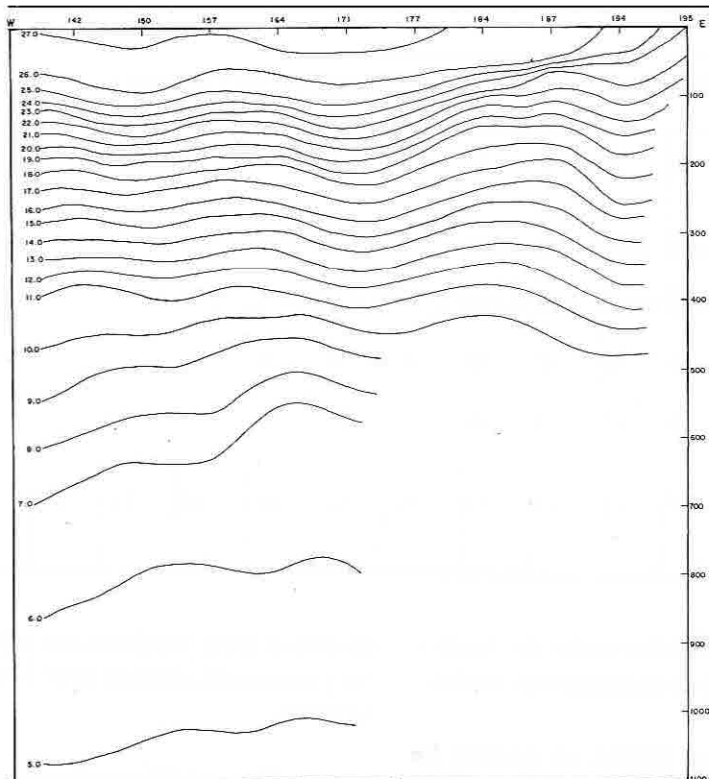


Figura 3a. Cruceo CARIBE I Abril-Mayo/92.
Temperatura.

la mínima de 0.5 m/seg.

El promedio de nubosidad total fue de 5 octas con el máximo promedio diario el día 27 de abril con 7 octas. La nubosidad observada superó en forma apreciable los porcentajes de frecuencia climáticos normales para el área de estudio; lo anterior se explica, en gran parte, por el desplazamiento hacia el norte de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), lo que originó una gran masa nubosa que gradualmente fue moviéndose del continente hacia el mar, cubriendo en ocasiones amplios sectores del litoral Caribe colombiano. Los promedios de los parámetros meteorológicos se presentan en la tabla 3.

HIDROGRAFIA

El valor promedio de la temperatura de la superficie

del mar (TSM) fue de 27.2°C, el registro máximo de TSM fue de 28.5°C en la estación 146 y el mínimo fue de 25.8°C en la estación 186, al norte de la Guajira. Los mayores valores de TSM se observaron en la región noroeste del área de estudio disminuyendo gradualmente hacia la costa y el este, corroborando el patrón de surgencia que se teorizaba para esta época del año. La distribución horizontal de la temperatura a profundidad de 100 metros muestra una marcada señal de la surgencia hacia el este, lo que indica el ascenso de agua desde profundidades mayores a los 100 metros, los gráficos de distribución vertical de la temperatura también apoyan esta hipótesis (ver figuras 3a y 3b). Durante el período de estudio se observa que el estrato superior del océano, con temperatura potencial mayor que 26.5°C, se mantiene generalmente por encima de los 50 metros llegando a hundirse a mayor profundidad en las estaciones del extremo noroeste, mientras que la termoclina se perfila hasta los 150 metros, en casi todos los

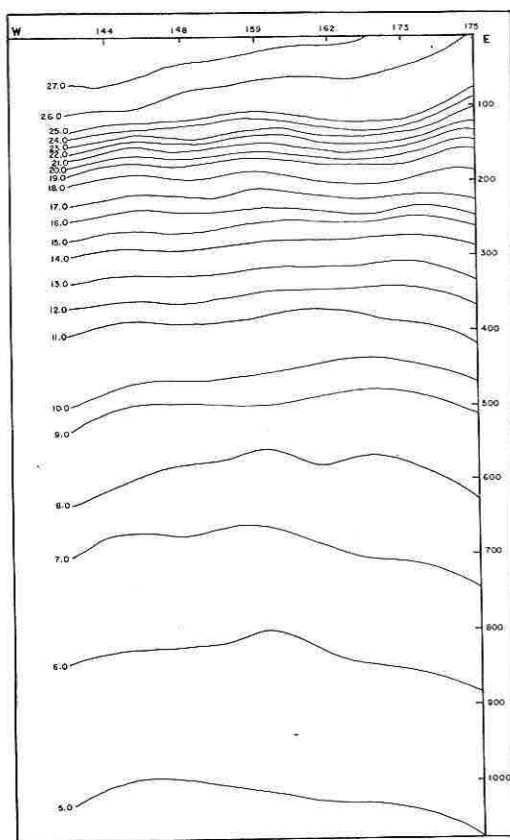
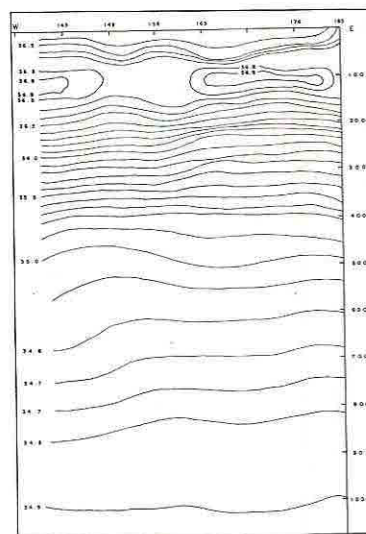


Figura 3b. Crucero CARIBE I Abril-Mayo/92
Temperatura

transectos.

Se observaron altos valores de salinidad en superficie, debido a los altos niveles de evaporación. Entre los 90 y 120 metros de profundidad (Figuras 3c y 3d), se identifica el núcleo del Agua Subtropical Subsuperficial. La Figura 5 muestra la distribución espacial y vertical del núcleo de Agua Subtropical Subsuperficial. Igualmente, el Agua intermedia Antártica presenta una señal bien definida entre los 500 y 700 metros de profundidad, caracterizada por valores mínimos de salinidad. La distribución espacial de la salinidad en la superficie demarca la zona de máxima salinidad en las proximidades de la costa, especialmente en la Guajira, donde se



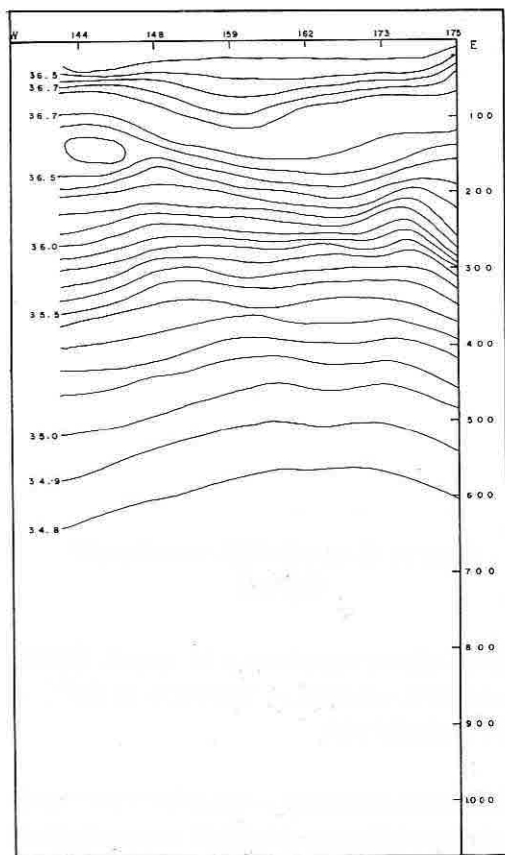


Figura 3d. Crucero CARIBE I Abril-Mayo/92
Salinidad.

estacionalidad. El transporte vertical máximo se registra durante la estación seca, mientras que en la estación de lluvias, el mismo disminuye llegando a ser en ocasiones nulo. Aún cuando, se debe indicar que la inclinación de las isopícneas hacia el sur es una característica propia de este mar, inclusive en la estación en que la surgencia disminuye. Durante esta época, la estructura vertical, formada en las aguas superiores durante la estación de surgencia anterior, se erosiona progresivamente, disminuyendo el declive de las isopícneas como consecuencia del efecto de los procesos de mezcla vertical de calor y la advección de la masa de agua (Donoso, 1989).

En el Caribe colombiano, el sistema de surgencia eleva aguas desde profundidades de 150 y 200 metros. Fajardo sugiere que este proceso se observa hasta unos 180 kilómetros mar afuera. El crucero Caribe I se desarrolló en la época de transición entre las estaciones seca y lluviosa de 1992. Durante este período, la surgencia tiende a disminuir, pero aún se observa su área de influencia identificada por el ascenso de las isohalinas e isotermas en las profundidades de la costa, en especial en el área de la Guajira (Figura 3). La Figura 4 muestra valores de salinidad en superficie de 36.71 p.p.m. a unos 40 kms de la línea de costa, aumentando a 36.86 p.p.m. en la región noroeste.

Igualmente, se aprecia el afloramiento de la profundidad de salinidad máxima correspondiente al núcleo del Agua Subtropical Subsuperficial, en las inmediaciones de la Guajira.

Con base en las observaciones, se identifica la zona de influencia de la surgencia hasta un promedio aproximado de 70 kms mar afuera, extendiéndose a unos 100 kms en las cercanías a la península limítrofe con Venezuela.

EXPERIMENTO INTERACCION OCEANO-ATMOSFERA

Como área de estudio se escogió la estación No. 163 (Figura 1) cuyas coordenadas geográficas son: latitud 12° 30'00" N y longitud 74° 00'00" W.

El experimento tuvo una duración de 24 horas. Durante este período, se tomaron registros horarios de parámetros hidrográficos y meteorológicos, según lo especificado en la sección 2 (Figura 6).

Los objetivos de este experimento fueron analizar la variación horaria de la capa de mezcla y comparar las observaciones con el output de un modelo numérico unidimensional (Cabrera, 1990). El modelo simula el proceso de evolución de la capa

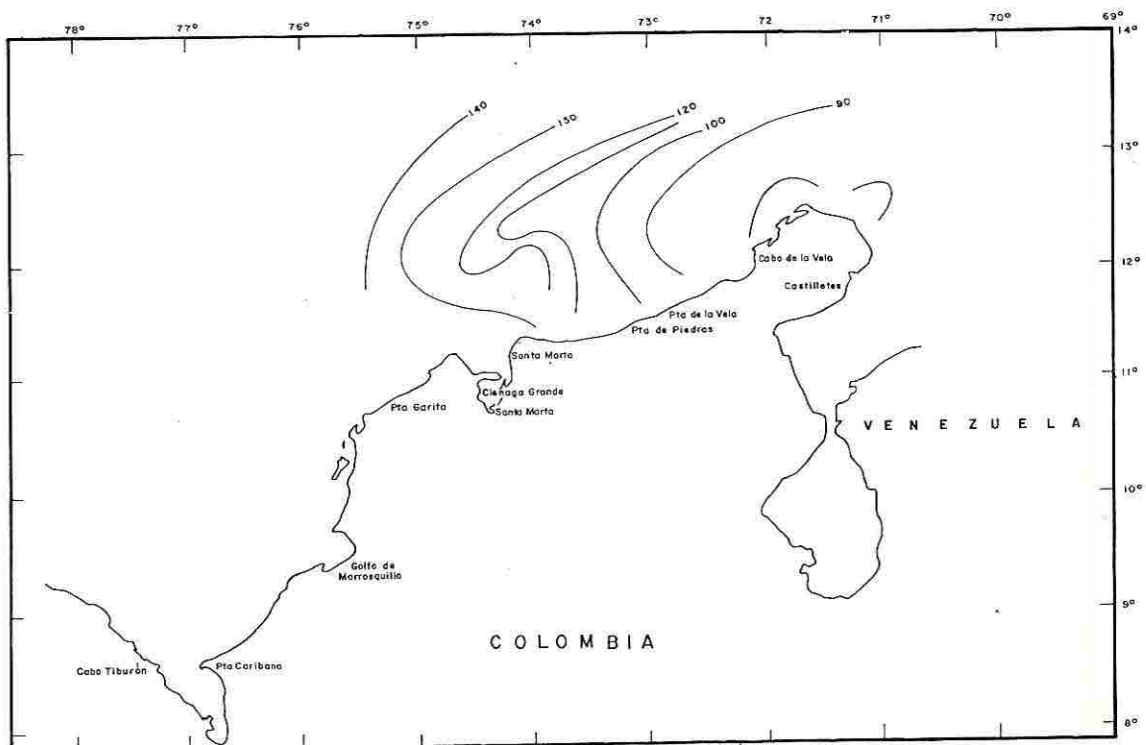


Figura 4. Crucero CARIBE I Abril-Mayo/92
Profundidad Salinidad Máxima.

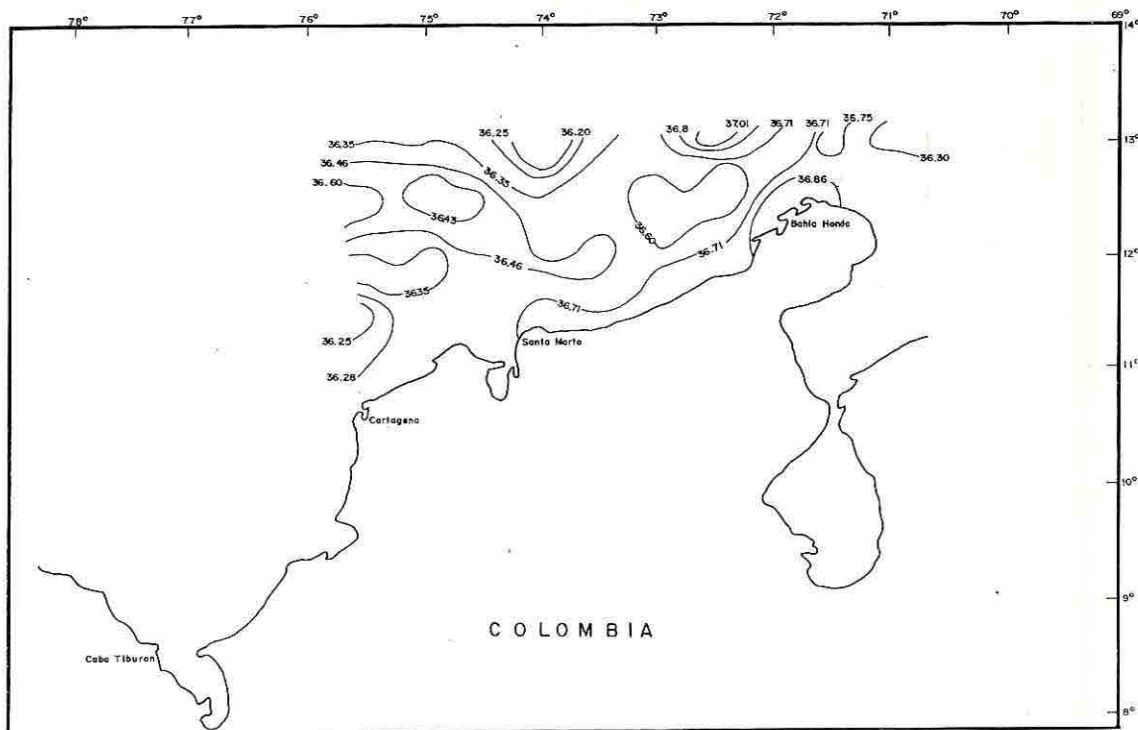


Figura 5. Crucero CARIBE I Abril-Mayo/92
Salinidad Omfs.

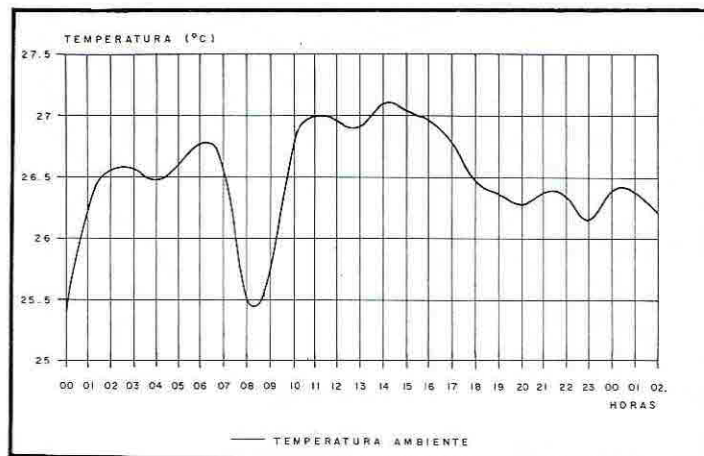
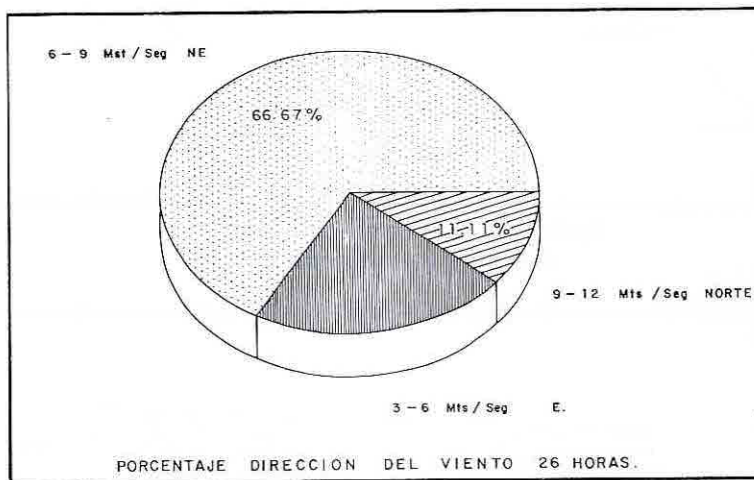
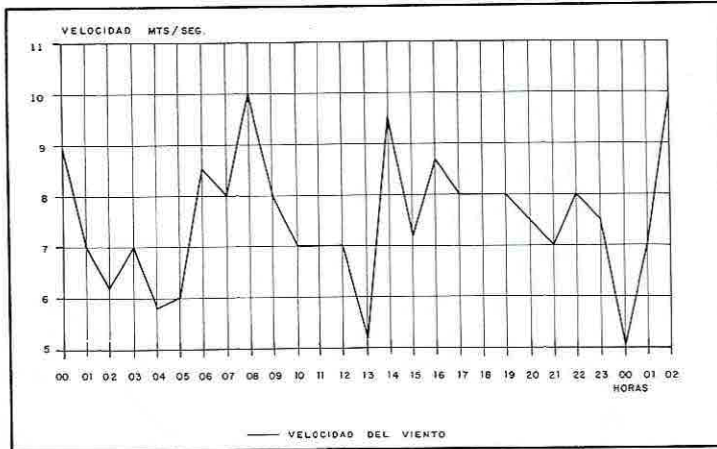


Figura 6. Experimento Interacción Océano - Atmósfera
Crucero CARIBE I Abril 23/92.

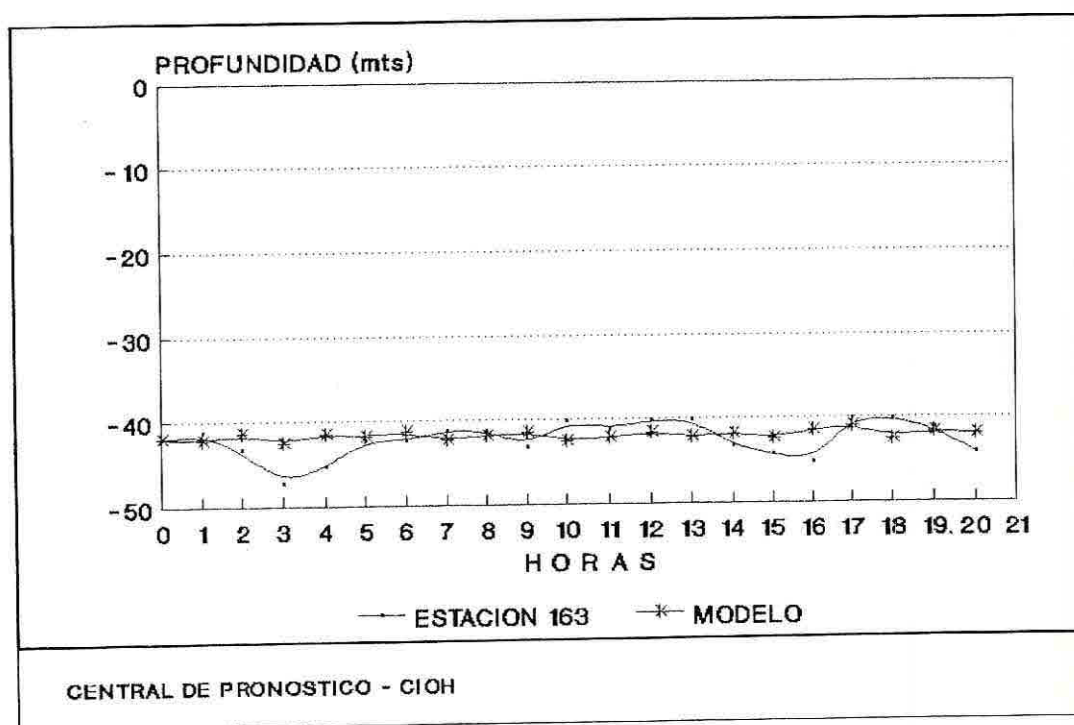


Figura 7. Experimento Océano-Atmósfera
CARIBE I - Abril 23/92. Profundidad de la capa de mezcla. (SLD).

de mezcla superior del océano considerando las suposiciones siguientes:

Se desprecia el efecto de convección y difusión horizontal, se toman variaciones en densidad sólo debido a la temperatura y se asume la capa superior del océano como turbulenta, despreciando la advección horizontal turbulenta y parametrizando los términos de Reynolds.

Al suponer los procesos de difusión despreciables, se obliga a considerar el "entrainment" como el único factor de mezcla. La capa de mezcla se considera como un estrato con homogeneidad aparente. La formulación teórica y la descripción del modelo numérico se presentan en Cabrera et al., (1989) y Cabrera (1990 -b).

La variación de temperatura superficial calculada por el modelo va de 26.89 °C a 27.31 °C. La profundidad de capa generada por el programa varía escasamente en las 24 horas de simulación;

manteniéndose en un valor promedio de 42m, que coincide con la profundidad media de 42.8 m observada durante el experimento. La evolución de la capa de mezcla simulada y la capa de mezcla real se presenta en las Figuras 7 y 8. Se aprecia que las variaciones registradas con relación a la media no superan los 4 metros. Por consiguiente, se puede establecer una coordenada significativa entre el modelo y las observaciones, como se muestra en la Figura 8.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El crucero Caribe I cubrió un área aproximadamente de 100.000 km² durante un período de 13 días.

Los patrones hidrográficos observados a lo largo de los transectos corroboran las predicciones referentes al comportamiento de la surgencia en la

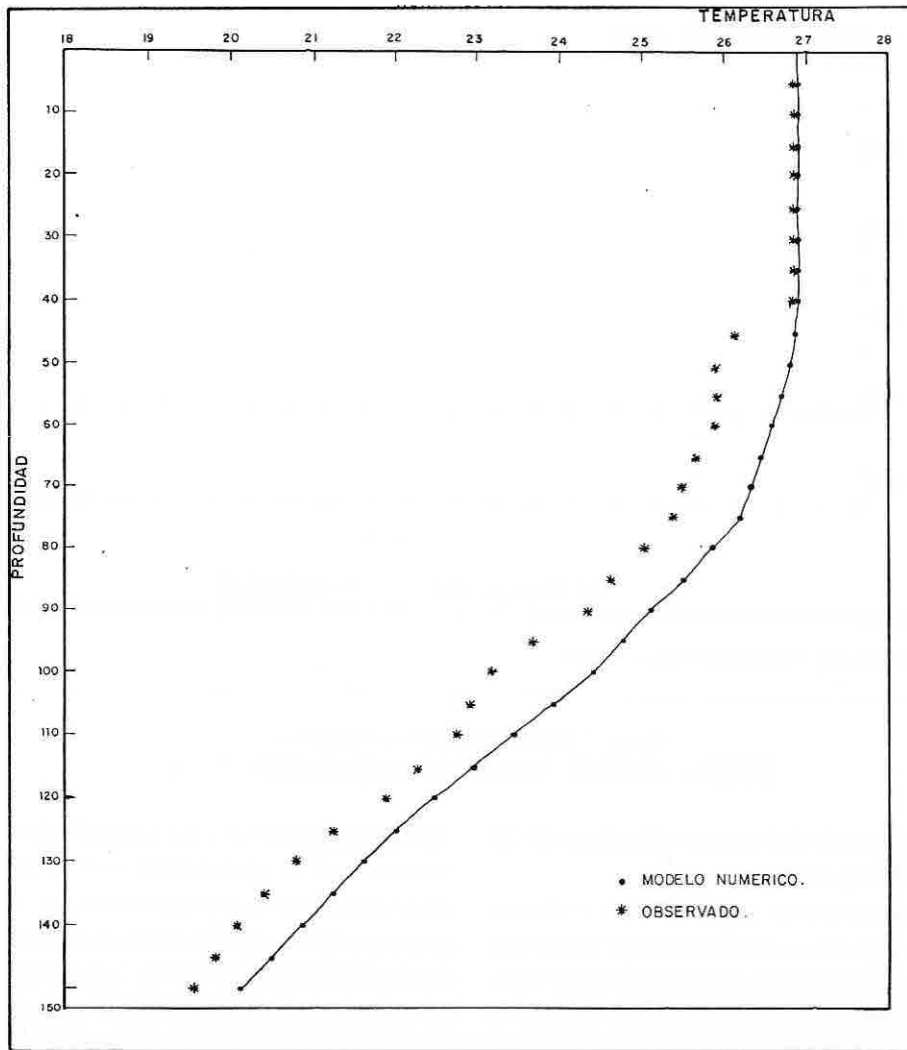


Figura 8. Experimento Océano - Atmósfera
 CARIBE I Abril 23 /92. Profundidad de la capa de mezcla Hora 0300.

costa noreste del Caribe colombiano durante la época de transición. Por este tiempo se inicia su proceso de erosión, disminuyendo su zona de influencia a 70-100 kms a partir de la línea litoral.

Las observaciones claramente identifican el núcleo del Agua Subtropical Subsuperficial a profundidades de 80 - 100m que se hunde hacia el oeste y el núcleo del Agua Intermedia Antártica confinado entre los 500 y 700 metros.

La comparación entre la evolución registrada de la estructura térmica del estrato superior del área de estudio y las variaciones de la profundidad de la capa de mezcla generadas por el modelo de simulación permiten validar el mismo. Durante el crucero Caribe II se realizarán dos experimentos adicionales que permitirán evaluar la sensibilidad del modelo con las variaciones estacionales propias de la región.

El crucero Caribe I cumplió con el objetivo de realizar mediciones hidrográficas y registros de parámetros climáticos para el análisis de las condiciones oceanográficas y meteorológicas en el área de estudio (Región III, Zona 1, PDCTM).

El trabajo realizado a la fecha, resumido en el presente documento, constituye un resultado parcial del proyecto multilateral de investigación oceanográfica en el mar Caribe. Esta actividad será completada con el estudio de la dinámica de circulación de las aguas superficiales, utilizando datos de corrientes adquiridos con el perfilador acústico (ADCP), durante el crucero CaribVent II (Universidad de Miami) para el mes de marzo de 1992.

El desarrollo del presente estudio además de contribuir al entendimiento de las condiciones generales en el Caribe, a diferentes escalas, permite mediante el trabajo científico conjunto con investigadores extranjeros, el intercambio de información y conocimientos, así como la actualización y capacitación de expertos nacionales en técnicas y metodologías.

El valor que los resultados presentados tienen para el seguimiento científico de los programas de Ciencia y Tecnologías del Mar motivan la continuación de esta actividad investigativa.

BIBLIOGRAFIA

- BEARMAN, G. (edit), 1989: "Ocean Circulation". pergamon Press. Great Britain.
- CABRERA, E., 1990 (a): "Estudio del Comportamiento de la Capa de Mezcla en un Area del Pacífico colombiano y su comparación con un Modelo Numérico Unidimensional". Memorias VII Seminario Nacional Ciencias y Tecnologías del Mar. Colombia.
- CABRERA, E., 1990 (b): "Desarrollo de un Modelo Numérico para simular el comportamiento de la Capa de Mezcla". Tesis Oceanógrafo Físico. Escuela Naval "Almirante Padilla". Colombia.
- CORREDOR, J., 1981: "Apuntes sobre la Circulación costera en el Caribe noroccidental Colombiano". Bol. Cient. CIOH, No. 3, pp. 3-8. Colombia.
- DONOSO, M.C., 1990: "Circulación de las Aguas en el Mar Caribe". Memorias, VII Seminario Nacional en Ciencias y Tecnologías del Mar". Colombia.
- FEBRES ORTEGA, G. y L. HERRERA, 1976: "Caribbean Sea circulation and water mass transports near the lesser Antilles". Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente. 15(1). Venezuela.
- GORSHKOV, S. and P. J. LAMB, 1978: "Heat budget Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Ocean". Univ. of Wisconsin Press. USA.
- PUJOS, M., J-L PAGLIARDINI, R. STEER, G. VERNETTE and O. WEBER, 1986: "Influencias de la Contracorriente norte colombiana para la circulación de las aguas en la plataforma continental". Bol. Cient. CIOH, No. 6, Colombia.
- ROOTH, C. and K. FANNING, 1989: "Ventilation of the Central Caribbean Deep Basin". Unpublished USA.
- STURGES, W., 1975: "Mixing of renewal water flowing into the Caribbean Sea". J. Mar. Res., 33, pp. 117-130. USA.
- WUST, G., 1964: "Stratification and circulation in the Antilles - Caribbean Basins". Columbia University. Press. USA.

US NAVY, 1986: US NAVY Climatic Study of the
Caribbean Sea and Gulf of Mexico", pre-
pared by Naval Oceanography Command.
USA.