

CORRELACION T-S DE LAS MASAS DE AGUA EN LA REGION DEL DOMO TERMICO DE COSTA RICA

C. L. Brenes

J. E. Coen

Departamento de Física.
Universidad Nacional. Heredia,
Costa Rica.

RESUMEN

Las variaciones en la estructura y en las propiedades de las masas de agua en la región del Domo Térmico de Costa Rica son estudiadas con base en expresiones analíticas de las curvas T-S. Las estaciones hidrográficas utilizadas forman parte de las expediciones EASTROPAC (febrero-agosto-septiembre de 1967, febrero de 1968) y de los Cruceos 075 - 076 del B/O Thomas G. Thompson (diciembre de 1972, enero de 1973).

La revisión de la clasificación de las masas de agua muestra que la masa de agua del Pacífico Ecuatorial y la Capa de Mínimo Oxígeno, son denominaciones de una misma masa de agua.

Se ajustó polinomialmente la curva T-S por el método de mínimos cuadrados, con el propósito de obtener la relación local existente entre la salinidad y la temperatura, por medio de una función de la forma $S = S(T)$.

ABSTRACT

Structure and water mass properties variations of the Costa Rica Dome area, are studied according to T-S analytical relations. The hydro-

graphic stations correspond to expeditions EASTROPAC (Feb.-Ag.-Set., 1967 - Feb., 1968) and CRUISES 075 - 076 of the R/V Thomas G. Thompson (Dec. 1972 - Jan., 1973).

A review of the water mass classification reflects that the Equatorial Pacific Water Mass and Oxygen Minimum Layer, correspond to the same water mass.

The Least Square Method is used for T-S curve polynomial fitting, in order to obtain the local T-S(T) relation.

INTRODUCCION

La utilización del diagrama T-S como técnica de análisis de las masas de agua en los océanos, se fundamenta en la estratificación vertical que estas masas de agua presentan, producto de los procesos de circulación y mezcla.

El fenómeno de surgencia, notable en toda el área ocupada por el Domo Térmico de Costa Rica (9°N, 89°W), encuentra su origen en los procesos de interacción mar-atmósfera y en el sistema de circulación que predomina en esta región del Océano Pacífico tropical oriental. Este fenómeno, al

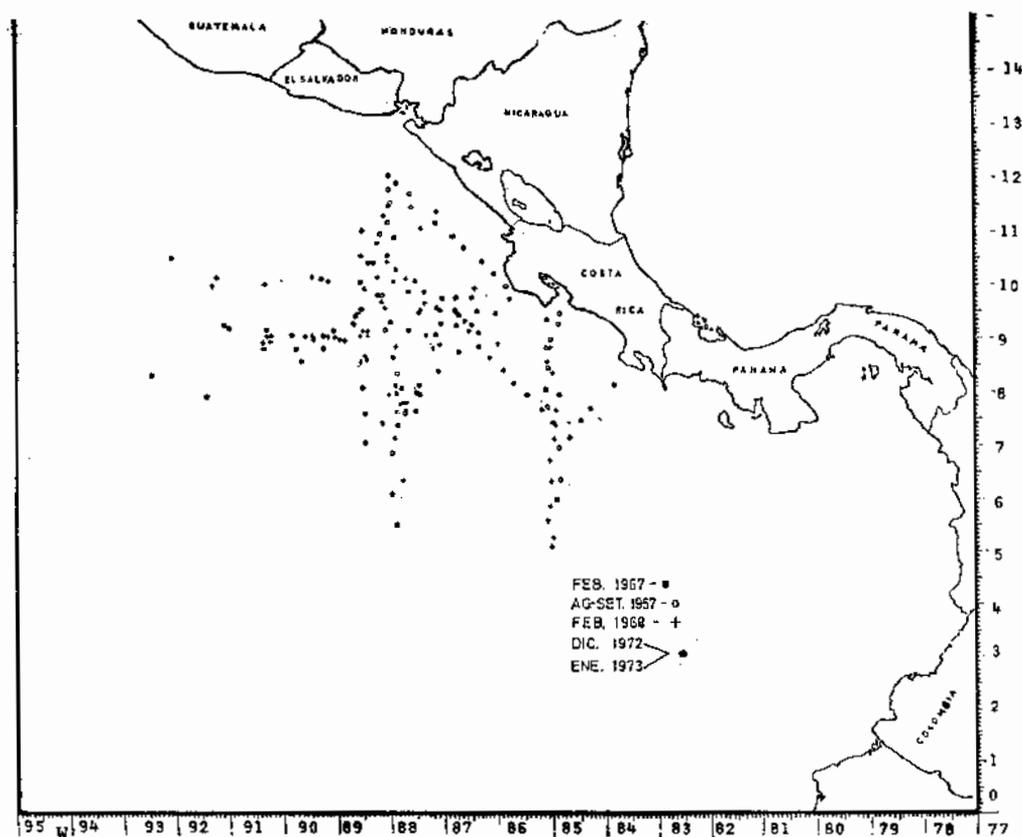


Figura 1

Mapa de la región. Están indicadas las posiciones de las estaciones oceanográficas.

ocasionar una rápida renovación de las aguas superficiales, por aguas de origen subsuperficial provenientes de las aguas intermedias, hace que la correlación T-S de estas aguas superficiales sea muy semejante a aquella obtenida para las masas de agua más profundas.

Con el propósito de estudiar la estabilidad de la configuración de la curva T-S, sus variaciones estacionales y la influencia que el fenómeno de surgencia pueda tener en alterar las características termohalinas, se analizó en este trabajo un conjunto de datos hidrográficos recogidos en estaciones densamente distribuidas en la región del Domo Térmico (Fig. 1), provenientes de las expediciones EASTROPAC (1967-1968) y los Cruceros 075-076 del B/O Thomas G. Thompson (1972-1973).

De los estudios pioneros de Sverdrup et al. (1942), sobre la identificación y clasificación de las masas de agua en los océanos del mundo, se puede distinguir para el Océano Pacífico tropical al Agua del Pacífico Ecuatorial (APE), ubicada entre las masas de agua superficiales y el Agua Intermedia Antártica (AIA), la cual está caracterizada por una relación T-S muy lineal entre los puntos (15 C, 35,15 ‰) y (8 C, 34,6 ‰).

Más recientemente, Wyrki (1967), utilizando datos colectados por expediciones realizadas entre 1928 y 1964, estudia el problema de la clasificación y origen de las masas de agua para el Océano Pacífico tropical oriental. De este trabajo podemos distinguir el Agua Superficial Tropical (AST), el Agua Intermedia Antártica (AIA) y la Capa de

Mínimo Oxígeno. Todas estas masas de agua, de acuerdo con la terminología de Defant (1961) y Mamayev (1975), se ubican dentro de las aguas troposféricas e intermedias. La Capa de Mínimo Oxígeno es una nueva denominación para el APE de Sverdrup. Esta masa de agua se ubica entre el máximo de salinidad del ASS y el mínimo de salinidad del AIA. A diferencia de cualquier otra masa de agua, su identificación no está hecha con base en las propiedades conservativas T y S, sino a través de una propiedad no conservativa, como lo es el oxígeno disuelto; este hecho hace que no exista un par termohalino que lo defina, sino que incluye partes de varias masas de agua. Este mínimo de oxígeno con concentraciones menores de 0,1 ml/l ya había sido descrito por Sverdrup et al. (1942), y sus límites superior e inferior están definidos por superficies en las cuales el contenido de oxígeno es 1 ml/l. Frente a las costas de América Central estas superficies se localizan entre los 50–100 m y los 1.000–1.200 m, respectivamente, abarcando un rango de temperatura comprendido entre los 17 C y 4 C. En este límite inferior está incluida parte del AIA, la cual está caracterizada por un mínimo de salinidad para temperaturas cercanas a 5 C. Toda el agua ubicada entre el núcleo de máxima salinidad y el de mínima salinidad es agua mezclada entre estas dos masas de agua y está caracterizada por una correlación T–S lineal entre los puntos (15 C, 35 ‰) y (5 C, 34,55 ‰) (Wyrcki, 1967). Esta linealidad es aparentemente una característica de las masas de agua centrales en todos los tres océanos (Mamayev, 1975).

Los intervalos de variación de temperatura y salinidad para las diferentes masas de agua según Wyrcki (1967), son presentados en la tabla 1.

TABLA 1

Índices Termohalinos de las diferentes masas de agua presentes en la región del Domo Térmico de Costa Rica

MASA DE AGUA	T (C)	S (‰)	Z (m)
AST	> 25	< 34	50
ASS	13 – 14	34,9 – 35,0	50 – 150
Capa Mínima O ₂	17 – 4	34,55 – 35,0	50 – 1.100
AIA	5	34,55	800 – 900

CARACTERÍSTICAS REGIONALES DE LA CORRELACION T–S

En primer lugar, se enfocará la atención de este trabajo hacia las características termohalinas de la masa de agua de la capa superficial o de mezcla. En nuestra región de estudio, dicha capa es poco profunda, nunca mayor a los 75 m., y en la cual los valores de temperatura son típicamente mayores de 25 C (Manzo, 1980). Como fue mencionado anteriormente, la masa de agua que se localiza en esta capa es el AST.

La comparación de los diagramas T–S dispersivos (figuras 2 a 4), los cuales representan la correlación de esas variables para los correspondientes períodos de observación, indica que esa masa de agua es sensible a las variaciones estacionales de los procesos meteorológicos y oceanográficos. La mayor estratificación observada en los Cruceos 075–076, contrasta con la homogeneidad encontrada en la expedición EASTROPAC. Las altas temperaturas del primer período encuentran su explicación en la manifestación del fenómeno de “El Niño”, de 1972–1973, el cual provocó grandes anomalías en las distribuciones de temperatura en toda esta zona del Océano Pacífico (Wyrcki, 1975).

En condiciones normales, las temperaturas superficiales no exceden los 29 C. Los valores de salinidad y temperatura en la base de la capa de mezcla varían entre los 33,5–34,5 ‰ y 25 C, respectivamente.

Se considerarán ahora las características T–S en toda la columna de agua, incluyendo la capa de mezcla. Los diagramas T–S dispersivos (figuras 5 a 8) presentan la correlación de esas variables para agosto-setiembre de 1967, febrero de 1968 y diciembre-enero de 1972–1973, así como para la totalidad de pares T–S.

En cada una de las épocas y para temperaturas mayores de 25 C, encontramos un considerable número de puntos con salinidades diferentes de los valores normales del Agua Superficial Tropical (AST), provenientes principalmente de las estaciones oceanográficas localizadas en el área del Domo Térmico. Debido a que estos valores de salinidad son superiores a 34 ‰, tenemos una buena evidencia de que aguas de origen subsuperficial provenientes del ASS penetran la capa superficial a través de fuertes procesos de mezcla, poniendo de manifiesto la ocurrencia del fenómeno de surgencia, característico de esta región oceánica. Para va-

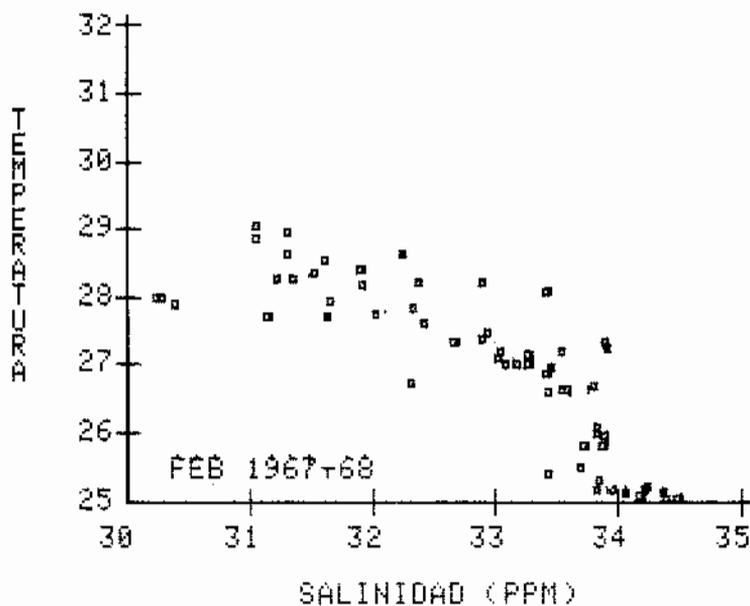


Figura 2

Diagrama T-S de la capa de mezcla del conjunto de estaciones realizadas en febrero de 1967 y 1968.

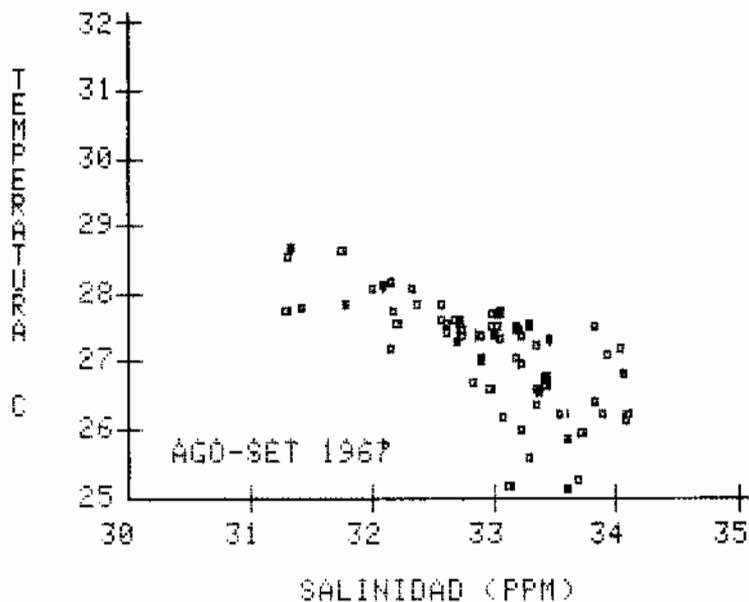


Figura 3

Diagrama T-S de la capa de mezcla del conjunto de estaciones realizadas en agosto y setiembre de 1967.

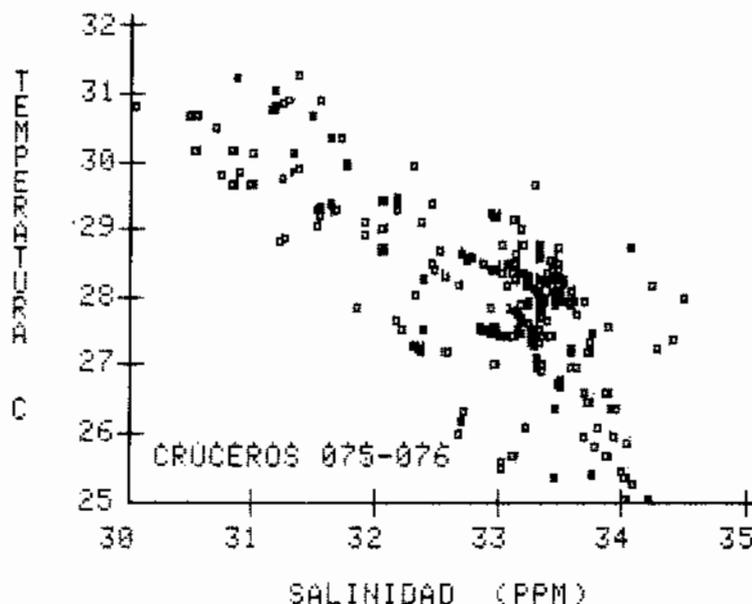


Figura 4

Diagrama T-S de la capa de mezcla del conjunto de estaciones realizadas en diciembre de 1972 y enero de 1973.

lores de temperatura inferiores a 21 C, los pares (T, S) se distribuyen con una pequeña dispersión y la configuración de la curva T-S es poco sensible a la variación estacional, distinguiéndose en todos los casos el máximo de salinidad del ASS entre los 12 C y 15 C y el mínimo de salinidad del AIA cercano a los 5 C.

FORMA ANALITICA POLINOMIAL DE LA CURVA T-S

En la selección de los pares (T, S) observados en la columna de agua, se analizaron individualmente todas las estaciones oceanográficas que alcanzaban profundidades superiores a los 900 m., obteniéndose un total de 3.035 puntos. Estos puntos fueron analizados por el método de mínimos cuadrados, con el propósito de ajustar para la función $S = S(T)$, el mejor polinomio posible, cuya expresión genérica está dada en la siguiente ecuación:

$$S(T) = \sum_{i=0}^k \beta(i) T^i \text{ (‰)}$$

La variable T (en °C) fue tomada como inde-

pendiente, para obtener una relación funcional más conveniente en las aplicaciones prácticas.

Los coeficientes polinomiales $\beta(i)$ fueron determinados para cada uno de los períodos de observación, así como para el conjunto total de puntos seleccionados. En la tabla 2 son presentados estos coeficientes, siendo válidos para temperaturas entre 4 y 31 C. Los polinomios correspondientes representan analíticamente las curvas T-S medias de los períodos de observación, para un rango de profundidad comprendido entre 0 y 1.100 m.

La representación geométrica de esas curvas (figuras 9 y 10) indica que el alineamiento de éstas es casi independiente de la época de observación, excepto para temperaturas superiores a 25 C y salinidades inferiores a 33,6 ‰. Por lo tanto, el índice termohalino (25 C, 33,6 ‰) puede ser utilizado para identificar el límite inferior del AST en la región estudiada.

Las variables dependientes del agua de mar en una columna de agua, son estimadas a partir de mediciones "in situ" de las variables independientes T y S. Cuando, por alguna razón, los valores de salinidad muestran errores o cuando

TABLA 2

Coeficientes de la curva T-S, correspondiente a la forma

$$\text{polinomial } S = S(T) = \sum_{i=0}^k \beta(i) T^i$$

Período	n	$\beta(0)$	$\beta(1)$	$\beta(2) \times 10^{-1}$	$\beta(3) \times 10^{-3}$	$\beta(4) \times 10^{-4}$
Febrero 1967	170	33.806	0.471895	-1.073795	10.801774	-3.400447
Agosto Setiembre 1967	457	33.460	0.608009	-1.241300	11.688992	-4.098171
Febrero 1968	908	34.938	-0.017680	-0.397096	0.055245	-4.923529
EASTROPAC	1.535	34.938	-0.268760	-0.999456	14.513173	-8.857052
Diciembre Enero 1973	1.500	34.554	0.065798	-0.336941	6.121368	-4.552605
TOTAL	3.035	36.069	-0.704444	1.159652	-8.220090	2.687172

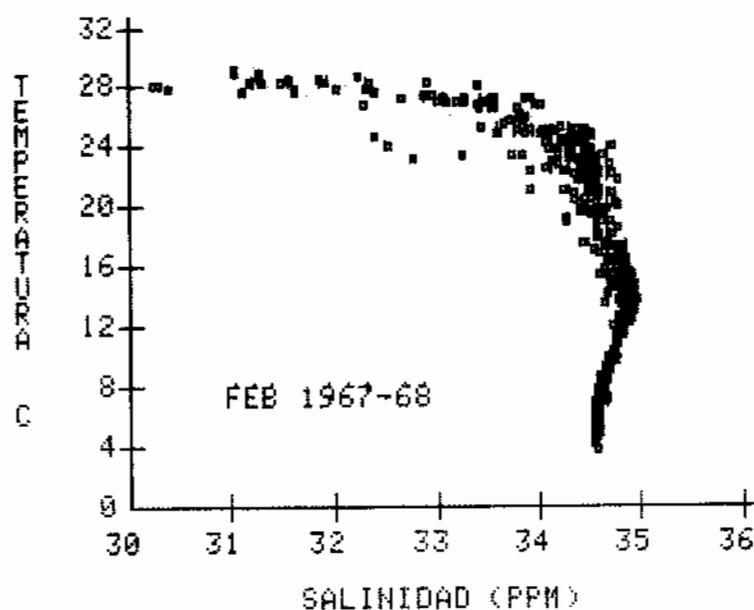


Figura 5

Diagrama T-S dispersivo de las estaciones realizadas en los períodos de febrero de 1967 y 1968.

$\beta(5) \times 10^{-5}$	$\beta(6) \times 10^{-7}$	$\beta(7) \times 10^{-8}$	$\beta(8) \times 10^{-9}$	$\beta(9) \times 10^{-11}$
1.280048	10.045669	1.647151		
0.986722	0.699756	2.079922	1.410038	2.477768
0.470818	4.453291	1.045865		
1.897786	1.442525	0.753455		
1.498066	1.852509			
0.343558				

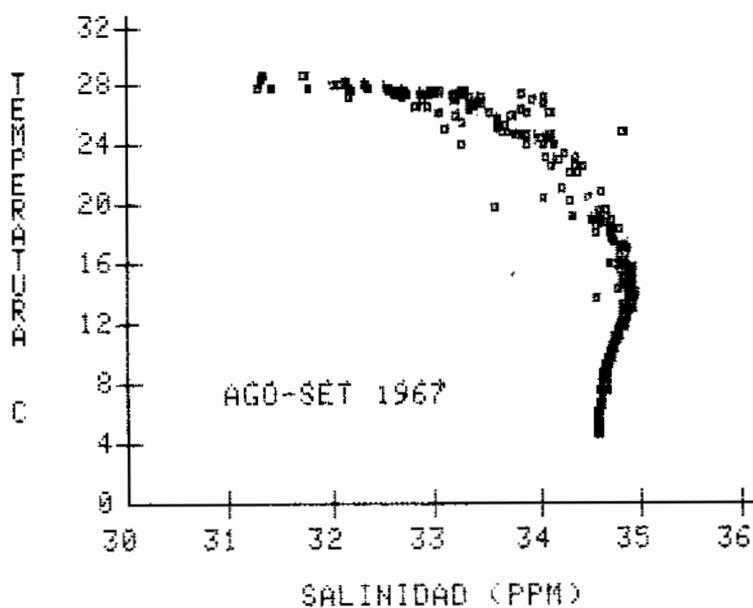


Figura 6

Diagrama T-S dispersivo de las estaciones realizadas en los periodos de agosto-setiembre de 1967.

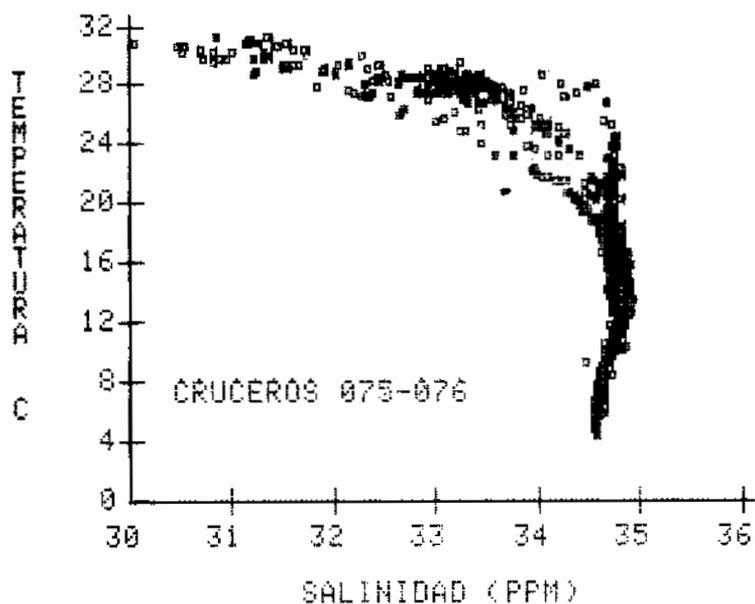


Figura 7

Diagrama T-S dispersivo de las estaciones, realizadas en los períodos de diciembre de 1972 y enero de 1973.

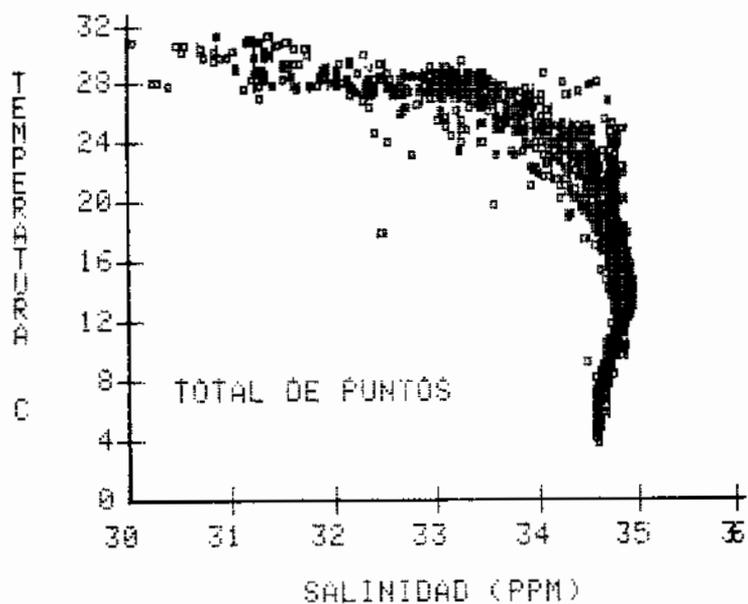


Figura 8

Diagrama T-S dispersivo correspondiente al total de estaciones utilizadas.

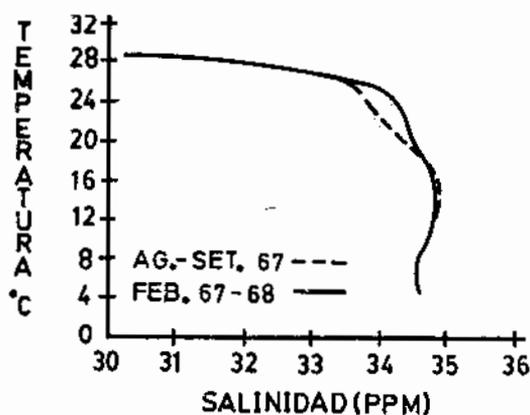


Figura 9

Configuración de las curvas T-S medias obtenidas por ajuste polinomial.

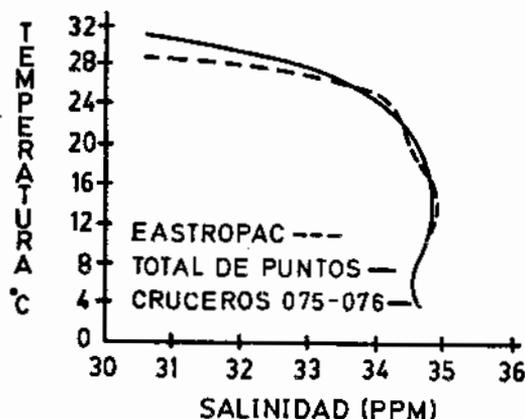


Figura 10

Curva T-S media obtenida por ajuste polinomial.

únicamente es muestreada la estructura térmica, se hace necesario utilizar un método alternativo para estimar la salinidad. Como se ha demostrado que la curva T-S posee una configuración casi estacionaria (estable) en el período considerado, entonces la expresión polinomial $S = S(T)$ puede ser utilizada como una alternativa para calcular la salinidad a partir del conocimiento de la temperatura $T = T(Z)$ "in situ". De esta manera todas las variables dependientes del agua de mar podrán ser

calculadas en una primera aproximación. Debido a que la campaña EASTROPAC fue realizada en condiciones normales, contrariamente a los Cruceros 075 y 076, los cuales se llevaron a cabo durante la ocurrencia del fenómeno de "El Niño", se sugiere que el polinomio correspondiente al primer período sea tomado como representativo de la correlación T-S existente en la zona del Domo Térmico de Costa Rica. La forma de dicho polinomio es:

$$S(T) = 34.414 + 0.268760 \cdot T - 0.999456 \cdot 10^{-1} \cdot T^{-2} + \\ 14.513173 \cdot 10^{-3} \cdot T^{-3} - 8.857052 \cdot 10^{-4} \cdot T^{-4} + \\ 1.897786 \cdot 10^{-5} \cdot T^{-5} + 1.442525 \cdot 10^{-7} \cdot T^{-6} - \\ 0.753455 \cdot 10^{-8} \cdot T^{-7}$$

CONCLUSIONES

Basados en la correlación T-S característica de las aguas de la capa de mezcla y considerando además los resultados de trabajos anteriores, fue posible comprobar que el Agua Subsuperficial Subtropical penetra la capa superficial, evidenciando la manifestación del fenómeno de surgencia en la región del Domo Térmico de Costa Rica.

Las curvas T-S medias representadas analíticamente por polinomios que varían entre los 31 C y 4 C, muestran un pequeño desvío estacional para temperaturas inferiores a 21 C, demostrando que la configuración de las masas de agua subsuperficial e intermedias en el plano T-S es bastante estable. Esto permitió sugerir la utilización de una función polinomial de $S = S(T)$ como un método alternativo que en una primera aproximación permita obtener la salinidad a partir de la temperatura.

BIBLIOGRAFIA

- Defant, A. 1961. Physical Oceanography. Vol. I. Pergamon Press. 729 pp.
- Mamayev, O. I. 1975. Temperature-Salinity analysis of world ocean waters. Elsevier. Amsterdam. 374 pp.
- Manzo, H. 1980. Termoclina y Capa de Mezcla de una zona del Pacífico Tropical Este. Tesis de maestría. CICESE. Ensenada. Baja California. 62 pp.
- Miranda, L. B. 1982. Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de Sao Tomé (R. J.) a Ilha de Sao Sebastiao (S. P.). Tese de Livre Docencia Universidade de Sao Paulo. Instituto Oceanográfico. 123 pp.
- Sverdrup, H. U.; Johnson, M. W. and Fleming, R. H., 1942. The Ocean, their physics, chemistry and general biology. Prentice Hall. New York. 1.087 pp.
- Wyrski, K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. Int. J. Oceanol. and Limnol. 1 (2) : 117 - 146.
- Wyrski, K. 1975. El Niño. The Dynamics Response of the Equatorial Pacific Ocean to Atmospheric Forcing. Journal of Physical Oceanography. 5: 572-584.
-

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto de Investigación No. 851015 del Departamento de Física de la Universidad Nacional.

Agradecemos la colaboración del licenciado Guillermo Arroyo en el procesamiento de los datos, así como a los oceanógrafos José Díaz y Alejandro Gutiérrez por sus valiosas sugerencias durante la elaboración final del trabajo.
