

## ANÁLISIS DE MASAS DE AGUA Y CONTROL DE CALIDAD DE LA INFORMACION OCEANOGRÁFICA

Por: Ing. Oceanólogo  
LUIS GIRALDO\*

### RESUMEN

*En el presente trabajo se aplicó una metodología para el control de calidad de la información oceanográfica, basada en la superposición de curvas T/S y en las características estadísticas de los campos.*

*La información procesada corresponde al crucero oceanográfico Océano V, realizado a bordo del ARC "Providencia" en agosto de 1981 en el Caribe colombiano.*

*La metodología fue aplicada bajo la asesoría de personal científico del Instituto Oceanológico Gubernamental de Odesa, Ucrania, con la cooperación del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas.*

*A manera de complemento se describe la metodología de interpolación óptima que permite recuperar y corregir la información en los puntos deseados con el mínimo de error y se realiza un análisis cuantitativo de las masas de agua en el Caribe colombiano, que ha permitido definir, de forma clara, sus características en el área de estudio.*

### ABSTRACT

*This paper presents the results of application of a methodic for the quality control of the oceanographic information, based on an opinion on the superposition of T/S curves and in the statistical characteristics of the fields.*

*The processed information was collected along the oceanographic cruise Oceano V, that was carried out on board of the ARC "Providencia" in August 1981 in the Colombian Caribbean.*

*The methodic was applied under the consultancy of scientific partners of the Governmental Oceanologic Institute of Odesa, Ucrania, with the cooperation of the Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas.*

*As complement, the methodic of optimum interpolation that allows to recover and correct the information in the desired points with the minimum of error is described, and a quantitative analysis of the water masses in the Colombian caribbean is carried out, that has allowed to define the characteristics of the water masses in the area.*

\* Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, A.A. 982 Cartagena - Colombia

## INTRODUCCION

Desde la hidrometría marina práctica hasta las cimas de la física teórica y la dinámica del océano se extiende un área inmensa ocupada por el procesamiento y análisis de la información oceanográfica. Históricamente ha sucedido que la teoría tiende a describir los fenómenos físicos a través de vínculos funcionales bien interpretados, los cuales se entienden como leyes naturales fundamentales. Sin embargo, los datos suministrados por las observaciones naturales no representan aún, una información en el sentido estricto de la palabra, ya que los registros se encuentran fuertemente deformados por diferentes formas de ruido y errores.

Es por esto que en la primera etapa de análisis de la información oceanográfica, se deben brindar al investigador las herramientas necesarias que depuren las series, obteniendo así datos que se acojan a las leyes físicas reales, libres de ruido y error.

En el presente trabajo se describe un método de filtrado de la información oceanográfica (hidrológica e hidroquímica), basado en el análisis de las curvas T/S para la identificación de masas de agua.

Este análisis se complementa con autocorrelaciones y correlaciones cruzadas entre los diferentes elementos, que permiten definir el radio de correlación y la intensidad del vínculo estadístico entre los parámetros.

Análisis similares han sido realizados en aguas del Atlántico norte, donde han permitido detectar errores de medición en series importantes de datos, ocasionados, en la mayoría de los casos, por deficiencias en la calibración de los equipos o por influencia de las condiciones meteorológicas reinantes en el momento de toma de los datos. Igualmente, en tales trabajos se ha podido establecer, que en el caso del Atlántico norte, una forma práctica y sencilla de restablecer la información deficiente es la aplicación de la interpolación óptima, tomando como base la forma característica de las funciones de correlación de los diferentes parámetros, las cuales definen, por su radio de correlación, la distancia máxima de influencia de las estaciones entre sí.

Como complemento de los resultados obtenidos mediante el análisis de las curvas T/S, en el presente trabajo se ha efectuado un análisis cuantitativo de las masas de agua, cuya finalidad es establecer, con el mayor grado de exactitud posible, la cantidad (en términos de porcentaje) de cada una de las masas de agua contenida y la ubicación de sus núcleos en la columna de agua estudiada.

### **Análisis cualitativo y cuantitativo de las masas de agua en un polígono o grilla oceanográfica**

Un método efectivo para controlar la calidad de las observaciones de campo de los parámetros hidrológicos (temperatura y salinidad del agua del mar) e hidroquímicos

(oxígeno disuelto y nutrientes) en una grilla oceanográfica o área de estudio cualquiera, es el análisis de masas de agua por medio de curvas T/S (Temperatura vs. Salinidad) tomadas en conjunto, involucrando la información hidroquímica. Esto nos permite determinar, no sólo la distribución y características de las diferentes masas de agua en el área estudiada, sino también las estaciones oceanográficas que ofrecen información poco confiable y los valores inexactos o erróneos, susceptibles de ser corregidos.

En conjunto con el correlativo, los métodos de análisis de masas de agua, basados en la obtención de curvas que involucren varios parámetros (T/S; T/O<sub>2</sub>; T/PO<sub>4</sub>; etc) permiten realizar un control crítico de la información inicial y evaluar su representatividad.

Sin embargo, cabe recordar que existen varios métodos para identificar las masas de agua: Con base en el análisis de secciones de distribuciones verticales de la temperatura y la salinidad del agua, análisis de mapas de distribuciones horizontales de los mismos parámetros, análisis de sus gradientes espaciales, etc.

Generalmente, un análisis simple cualitativo de las masas de agua de un área estudiada se realiza con ayuda de las curvas T/S, que pueden ser obtenidas para cada estación oceanográfica con base en la información sobre temperatura y salinidad en el punto. Algunas veces, para caracterizar una masa de agua se puede usar el contenido de oxígeno disuelto, las particularidades biológicas y otros síntomas. Al identificar una masa de agua por cualquiera de estas cualidades, podemos determinar las condiciones de formación de la misma, la dirección de su distribución o migración y su proceso de transformación.

El método consiste en la ubicación por medio de puntos en un sistema de coordenadas rectangulares, en el que el eje de las ordenadas es para la temperatura y el de las abscisas para la salinidad, de las profundidades en que dichos parámetros han sido registrados. Los puntos obtenidos son unidos por una curva, cuya forma nos permite determinar la cantidad y las características de las masas de agua existentes en el área estudiada. El número de éstas será igual a la suma de la cantidad de curvas en la línea más los dos extremos.

Tomando como base la información obtenida durante el crucero Océano V (agosto-septiembre de 1981), realizado a bordo del ARC "Providencia", la aplicación del método referido permitió la identificación de las siguientes masas de agua:

1. **Superficial Ecuatorial Tropical:** ocupa de 0 a 50 metros, la temperatura y la salinidad varían entre 28 - 30 grados y 34.5 - 36‰ respectivamente.
2. **Subsuperficial Subtropical:** forma un máximo de salinidad de 36.6 - 37‰ en la capa de 50 a 200 metros, ubicado en la zona de transición térmica o termoclina (temperatura aproximada en el núcleo 22 grados).
3. **Agua Intermedia Subantártica:** se identifica por el mínimo de salinidad de 34.7 - 35.15 ‰ a los 750 - 800 metros. La temperatura en su núcleo es de 6 grados. Ocupa

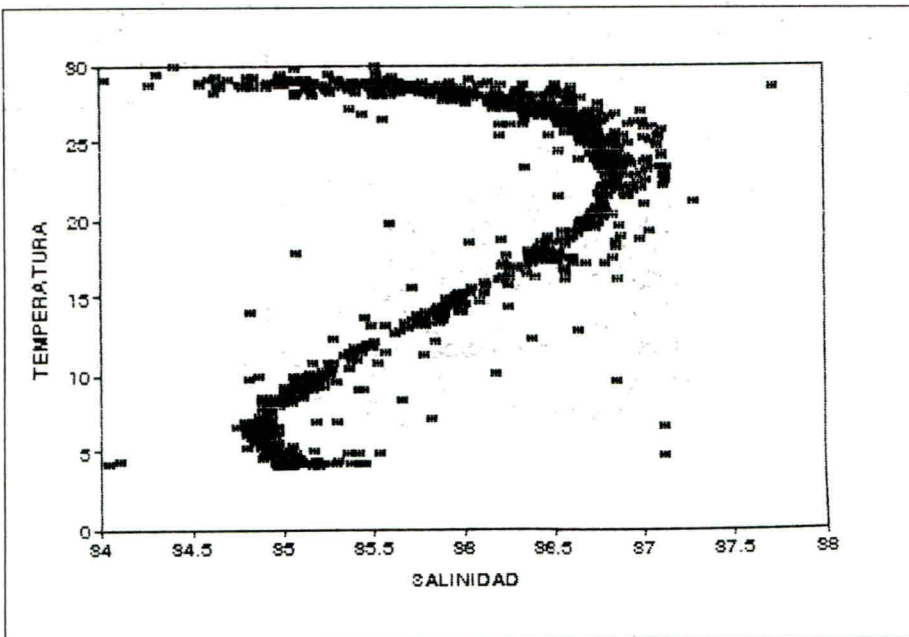


Figura 1.  
Crucero Océano V  
(Curvas T/S - Todas)

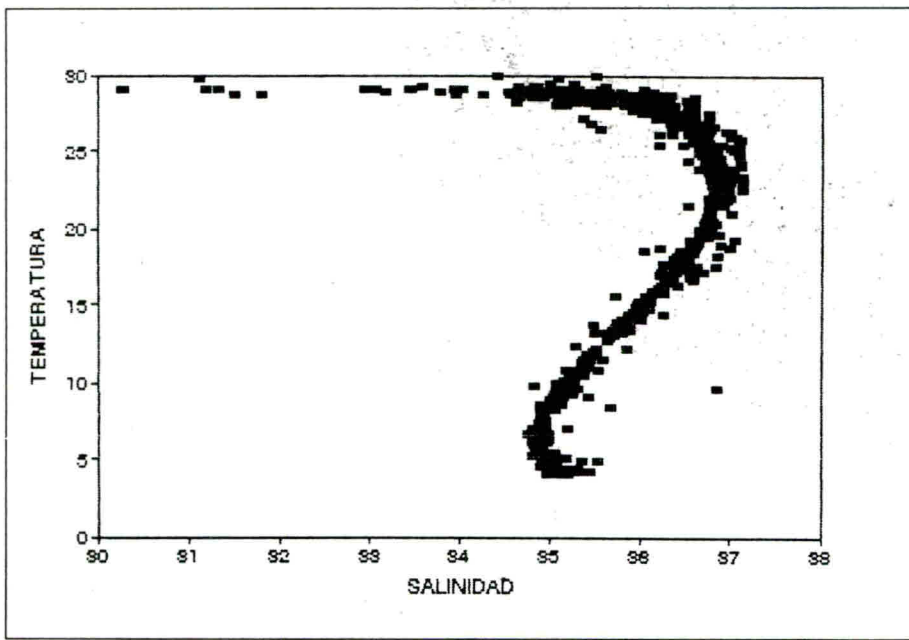
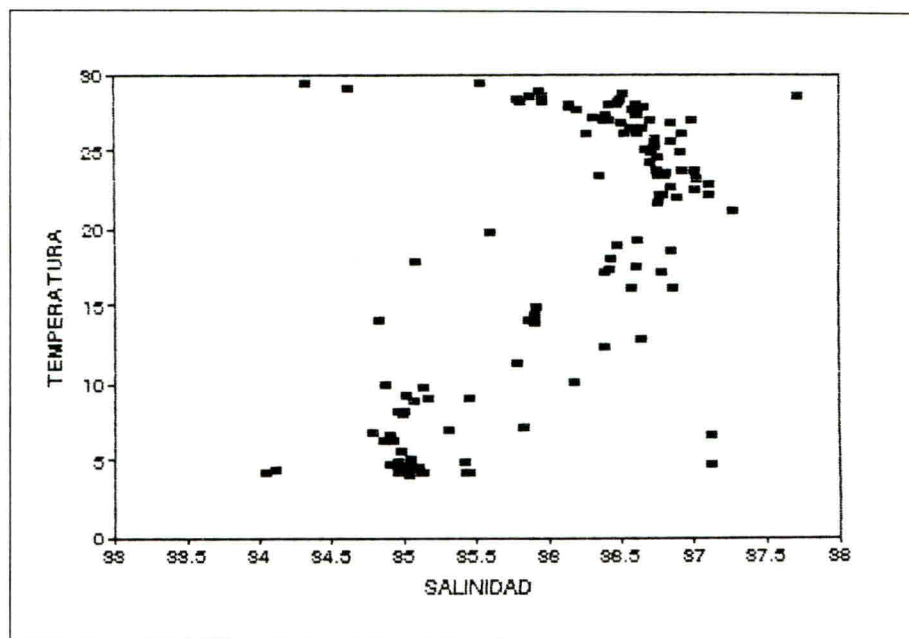


Figura 2.  
Crucero Océano V  
(Curvas T/S Est. Correctas)

Figura 3.  
Crucero Océano V  
(Curvas T/S Est. Incorrectas)



la capa de 200 a 1000 metros. Ingresa al mar Caribe por los estrechos de Saint Vincent y Saint Lucia.

**4. Agua profunda del Caribe:** se forma a partir del agua profunda del Atlántico que ingresa al Caribe al nivel de los umbrales de los estrechos Venteadó y Sombrero. Se caracteriza por una salinidad de 35 - 35.2‰ y una temperatura de 4 grados. Se ubica más bajo de los 1000 metros.

La Figura 1 nos muestra el conjunto de todas las curvas T,S para la grilla estudiada. Llama la atención la presencia de estaciones de poca confiabilidad, cuyas curvas T,S se presentan muy diferentes de la curva característica para esta región (la formada por la nube densa de puntos). En la Figura 2 se muestran las curvas de las estaciones con las que podemos continuar el análisis. Por este mecanismo fue desechada la información de ocho estaciones, cuyas curvas presentaron la forma mostrada en la Figura 3.

Con el fin de obtener resultados más contundentes sobre la calidad de la información disponible, se construyeron los diagramas Sigma-t/O<sub>2</sub> (densidad vs. oxígeno disuelto), T/O<sub>2</sub> (Figuras 4 y 5), Sigma-T/PO<sub>4</sub>, T-PO<sub>4</sub> (Figuras 6 y 7), T/S<sub>i</sub> (temperatura vs. silicatos) y T/NO<sub>3</sub> (temperatura vs. nitratos); este procedimiento nos permitió, a la vez que precisamos los límites de las masas de agua, elevar la calidad de la información hidroquímica.

El análisis de las curvas T/S demostró que, dentro de los límites correspondientes, la región estudiada está colmada por masas de agua que son uniformes desde su origen. Por lo tanto, las curvas que se obtengan para los parámetros hidroquímicos deberán ubicarse dentro de los límites de una curva general formada por un denso agrupamiento de los puntos. Una dispersión sensible de los puntos con respecto a esa curva general nos hablaría de una baja calidad de la información.

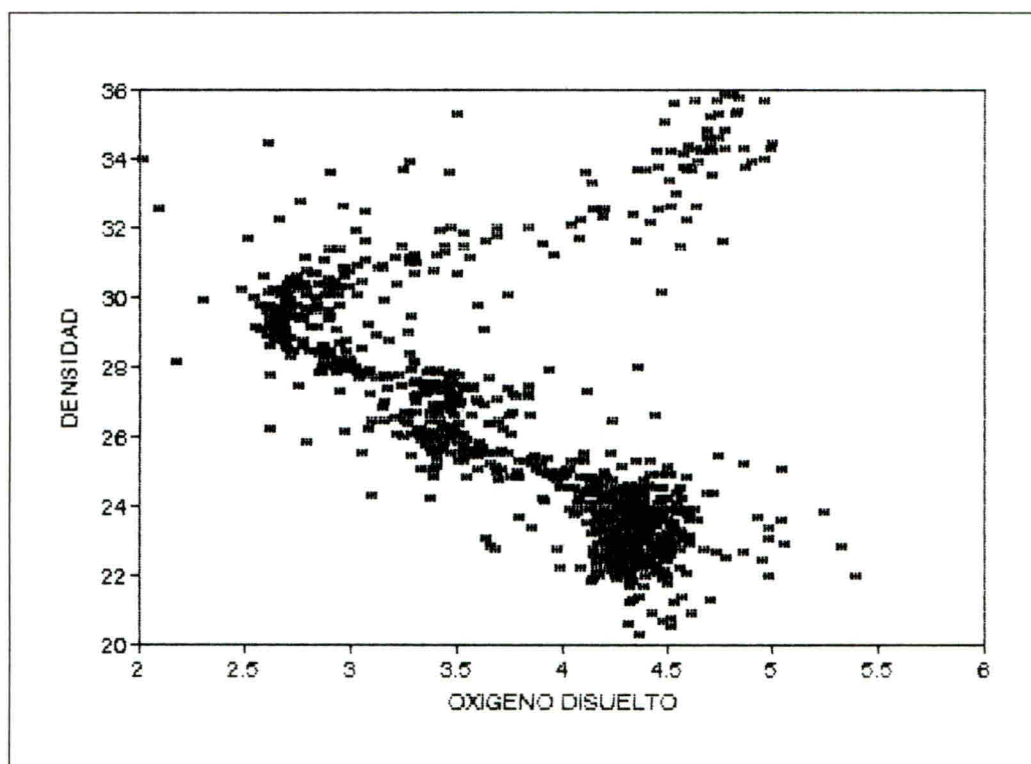


Figura 4.  
Crucero Océano V  
(Curvas Sigma-t/ $O_2$ )

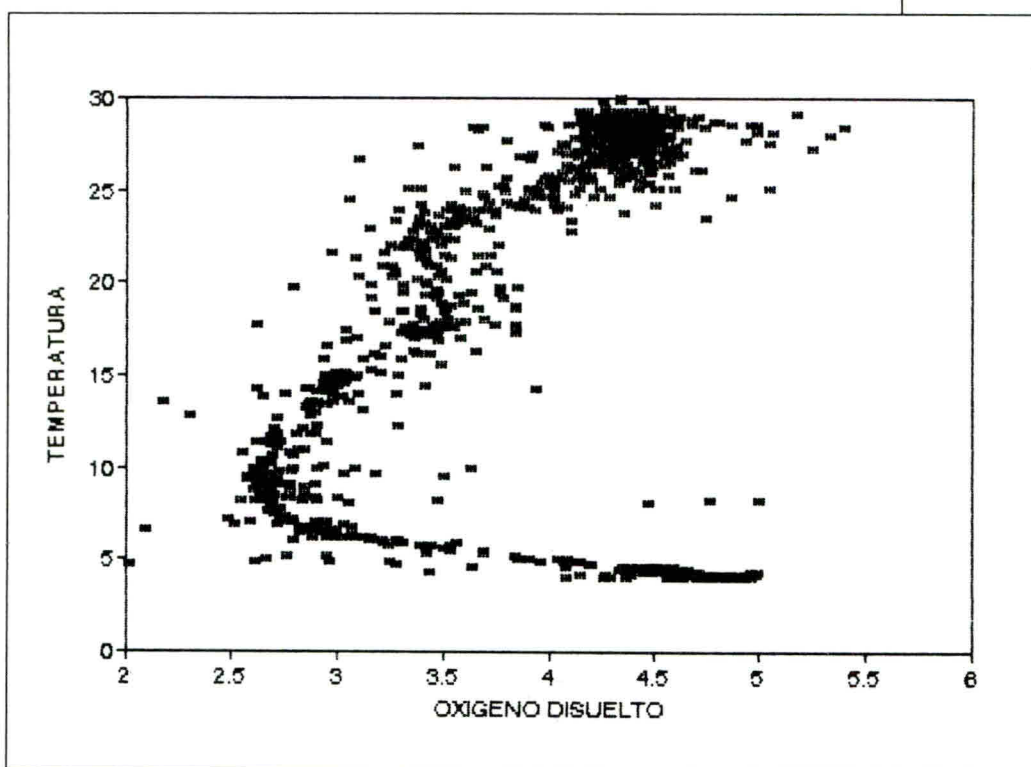


Figura 5.  
Crucero Océano V  
(Curvas T/ $O_2$ )

Figura 6.  
Crucero Océano V  
(Curvas Sigma-t/ $PO_4$ )

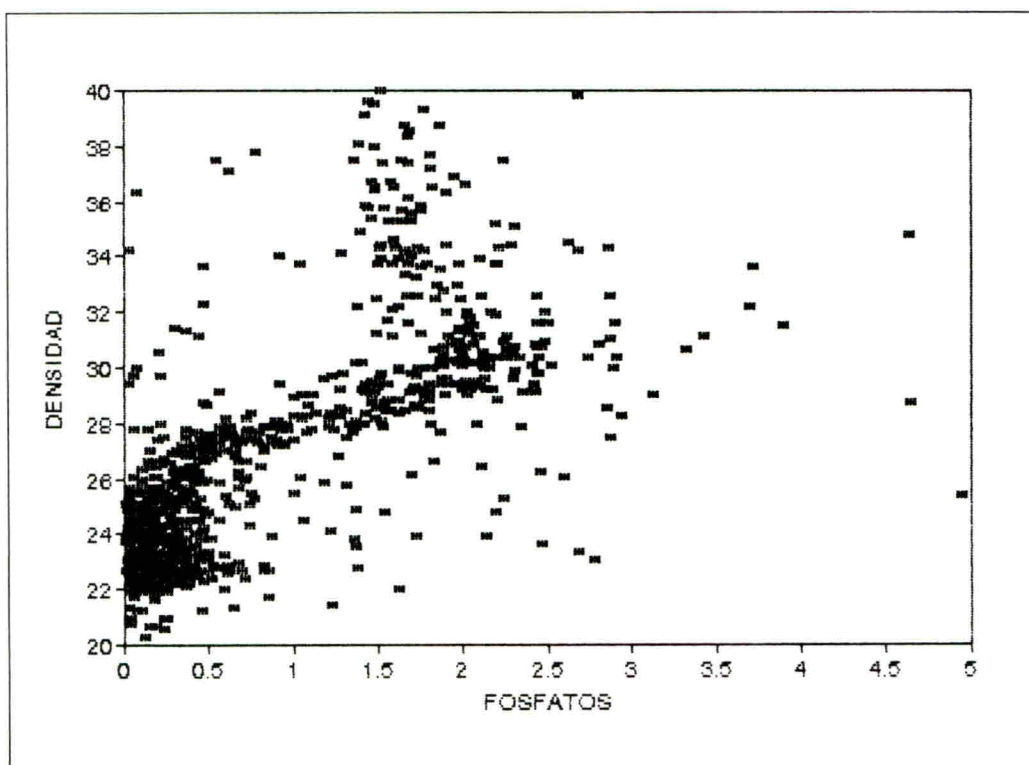
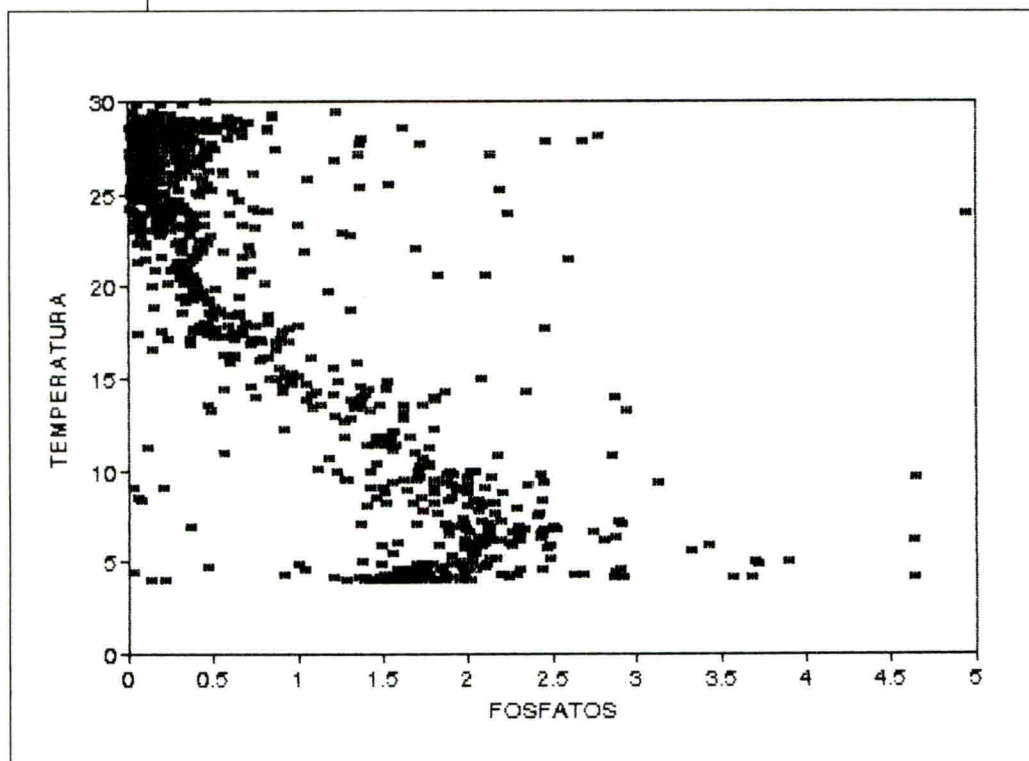


Figura 7.  
Crucero Océano V  
(Curvas T/ $PO_4$ )



Así, por ejemplo, si la calidad de la información sobre la distribución del oxígeno disuelto puede ser considerada satisfactoria (Figuras 4 y 5); la gran dispersión de puntos que se observa en las curvas T/Si, T/NO<sub>3</sub> y T/PO<sub>4</sub>, por el contrario, nos habla de un alto porcentaje de error contenido en los registros de concentraciones de elementos biógenos en las aguas del área, lo que puede excluir la posibilidad de su procesamiento posterior. Esto puede estar relacionado, ya sea con la violación de las metodicas de muestreo o con una calibración incorrecta de los instrumentos empleados.

### **Análisis Autorrelativo y Cruzado de los Campos Hidrológicos e Hidroquímicos**

Como se ha concluido de la aplicación del análisis de masas de agua para el control de calidad de la información hidrológica e hidroquímica, la información analizada en el presente trabajo contiene un alto porcentaje de error (en especial la información hidroquímica). Con el objeto de obtener resultados altamente representativos, han sido calculadas las funciones autocorrelativas y cruzadas de los campos que nos interesan.

La función autocorrelativa espacial (FAE) de un campo aleatorio se define por la siguiente relación:

$$R_f(L) = \frac{f'(X_i, Y_i) f'(X_j, Y_j)}{\sigma^2}$$

donde  $R_f(L)$  -FAE entre los valores del campo  $f(X, Y)$  en los puntos  $i, j$ , que se ubican a una distancia  $L$  entre sí;  $f'_i * f'_j$  - producto medio de las desviaciones de los campos con respecto del valor medio en todos los puntos  $i, j$ , separados por la distancia  $L$ ;  $\sigma$  - desviación standard del campo  $f(X, Y)$ .

La FAE caracteriza un vínculo o dependencia estadística existente entre los valores de un mismo campo en dos puntos diferentes del espacio. La distancia en que la FAE decae de un valor de 1 (cuando  $L=0$ ) hasta cero se denomina radio de correlación. Dentro de un área, cuyas magnitudes son cercanas al radio correlativo, existen vínculos (correlaciones) positivos relativamente fuertes entre las fluctuaciones del campo estudiado. Esto quiere decir que, dentro del área señalada, los valores de los campos en cada uno de los puntos de la grilla son independientes y la distribución de los elementos del campo  $f(X, Y)$  varía como un todo.

De esta manera las funciones autocorrelativas espaciales describen la magnitud de la uniformidad que poseen los campos y la intensidad del vínculo correlativo lineal existente en su interior.

La forma de las funciones autocorrelativas para los campos de densidad, oxígeno disuelto y fosfatos en las profundidades características para el polígono en mención se pueden observar en las Figuras 10 a 14. Para el campo de densidad (Figura 10) el radio de

Figura 8.  
Crucero Océano V  
(Curvas T/Si )

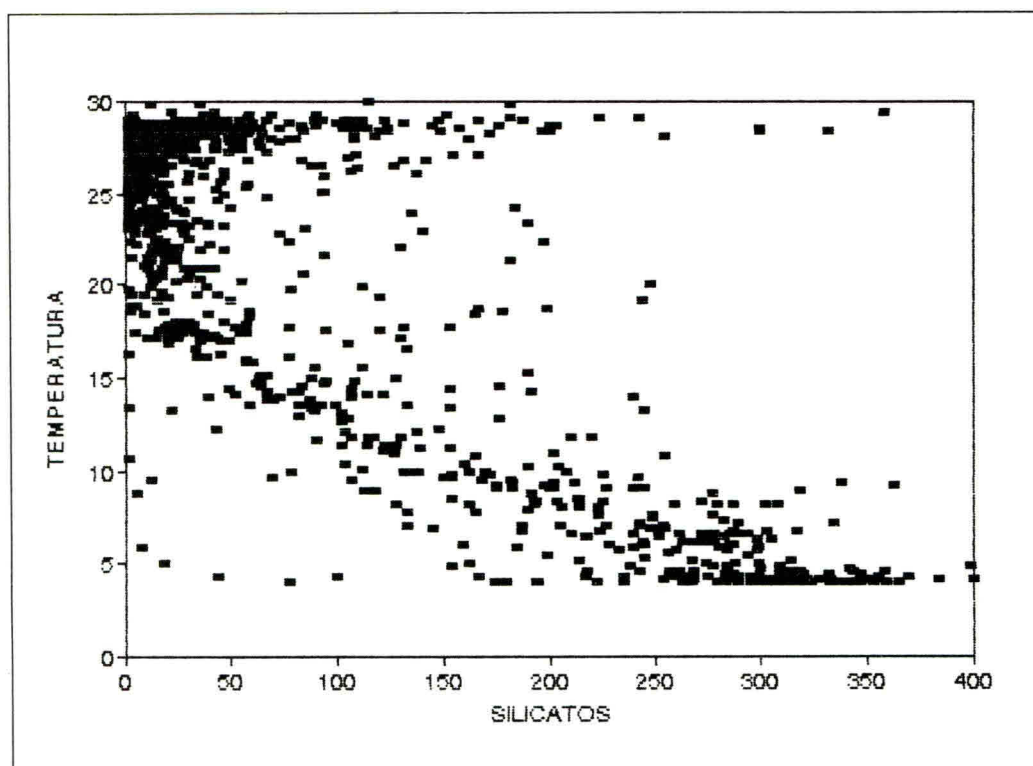
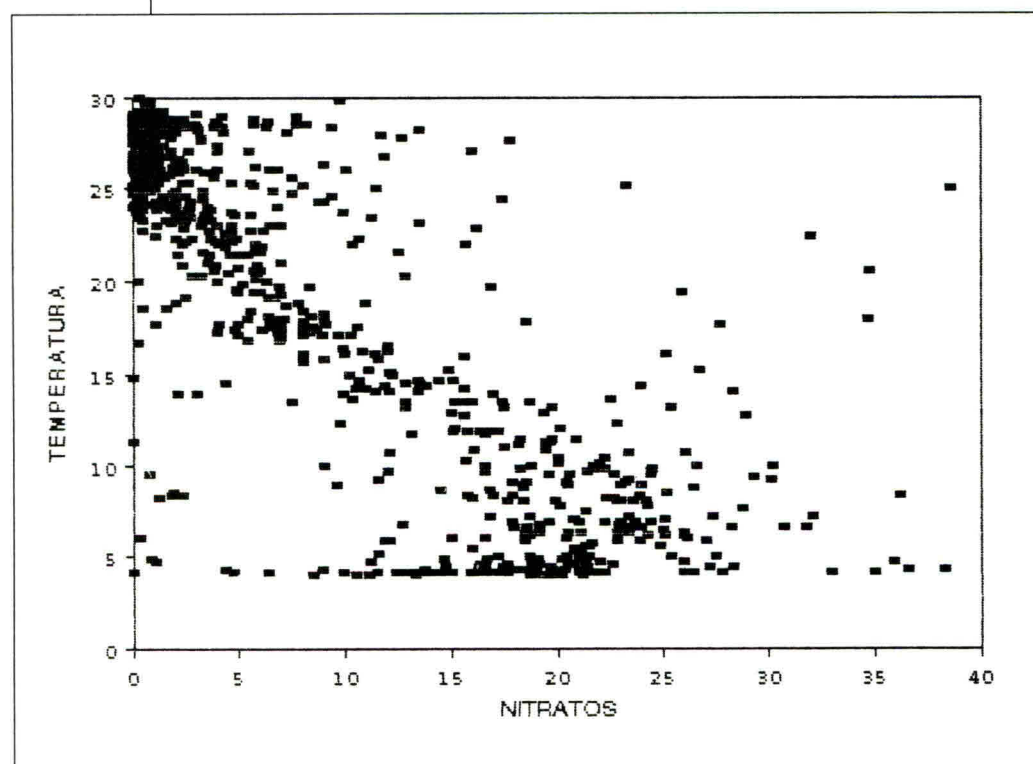
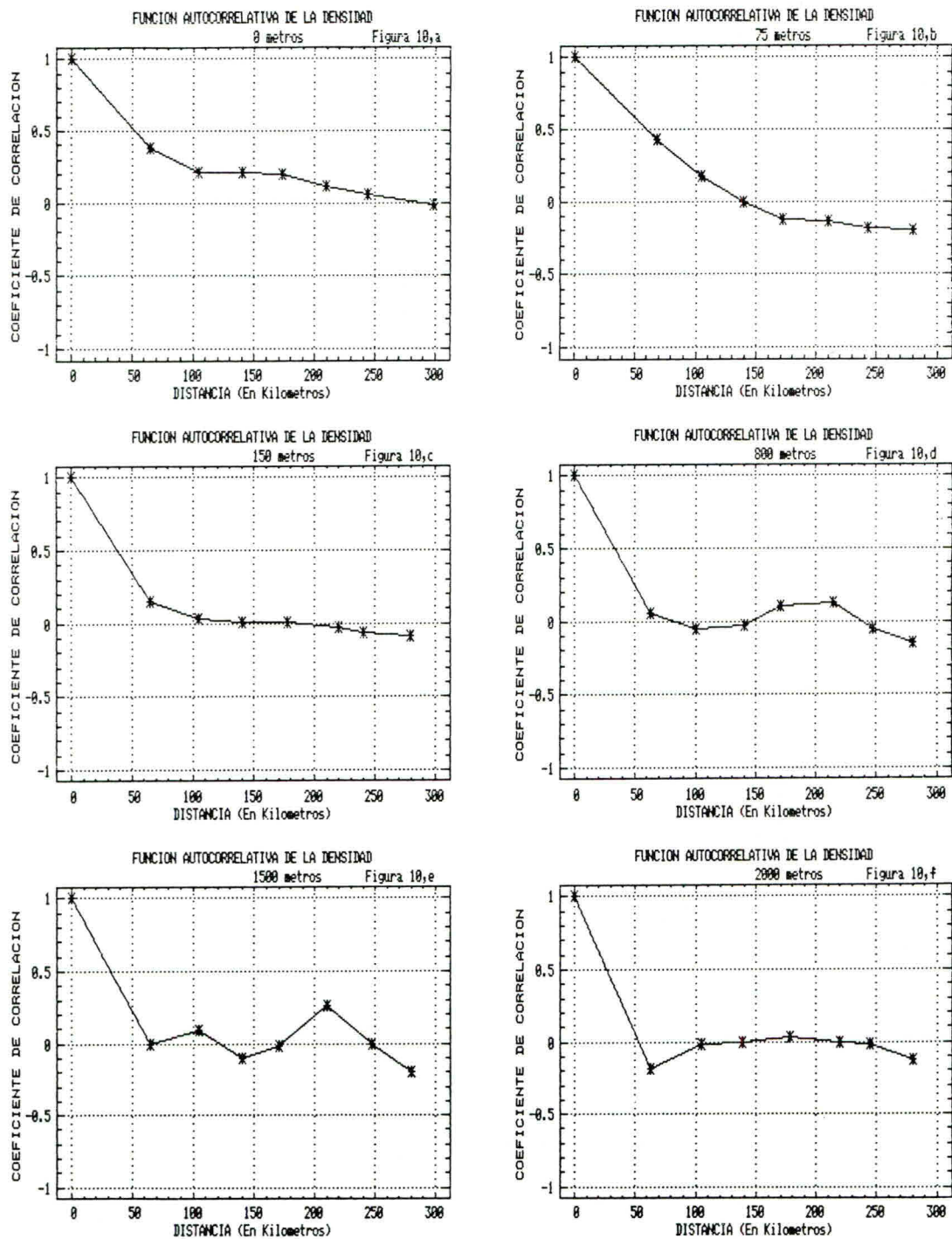


Figura 9.  
Crucero Océano V  
(Curvas T/NO<sub>3</sub> )





*Figura 10.  
Autocorrelación del campo de densidad.*

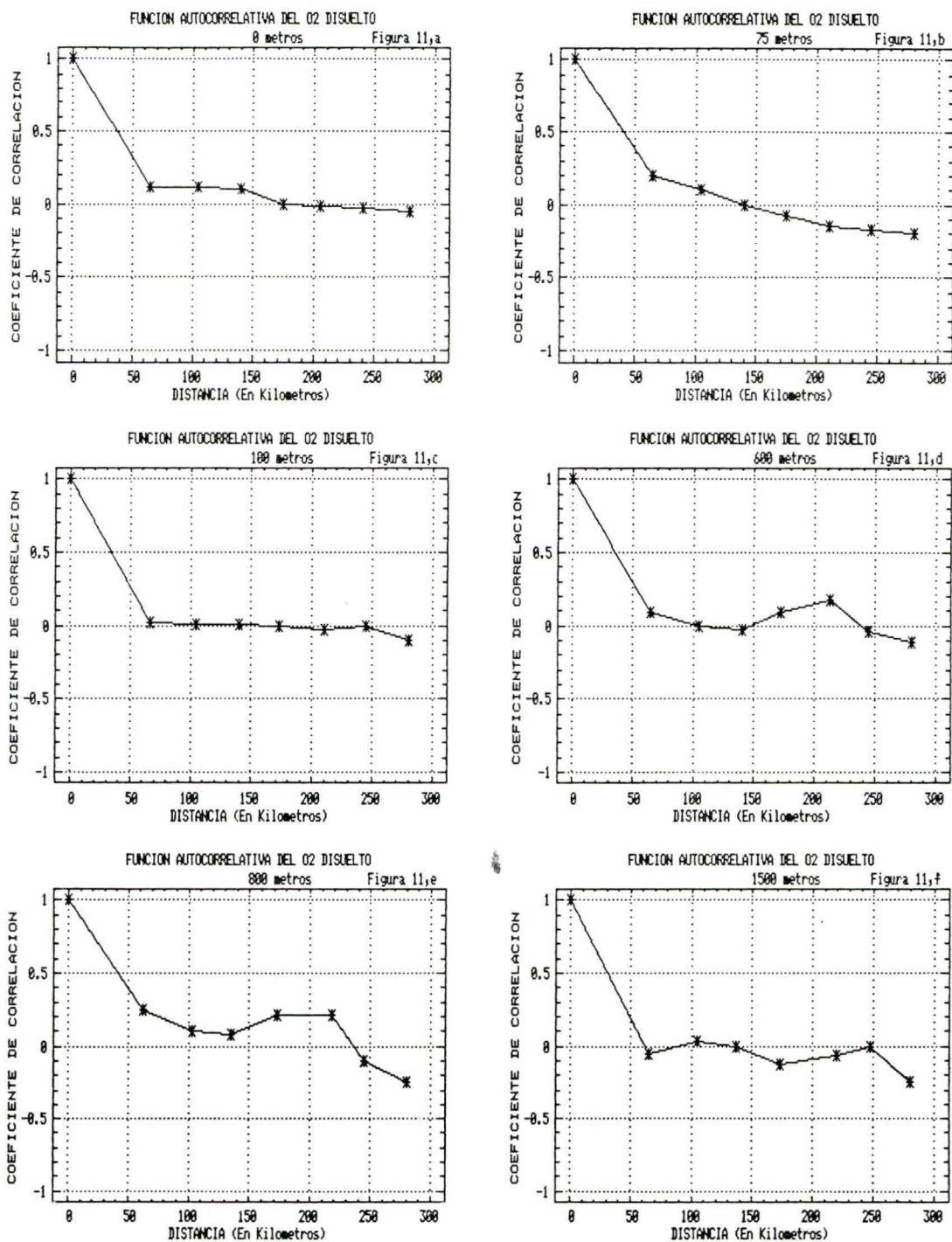
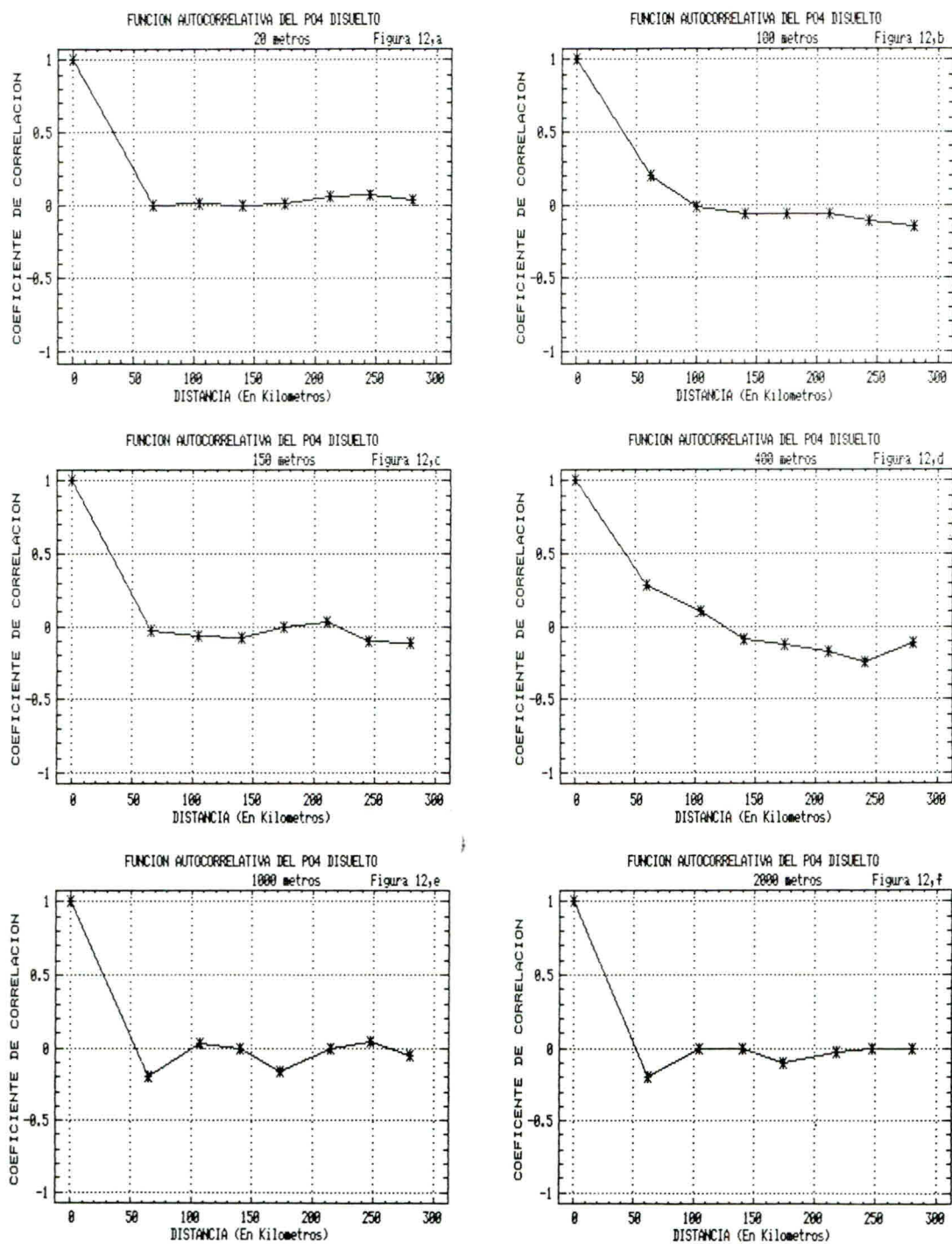


Figura 11.  
Autocorrelación del campo de oxígeno.



*Figura 12.  
Autocorrelación del campo de fosfatos.*

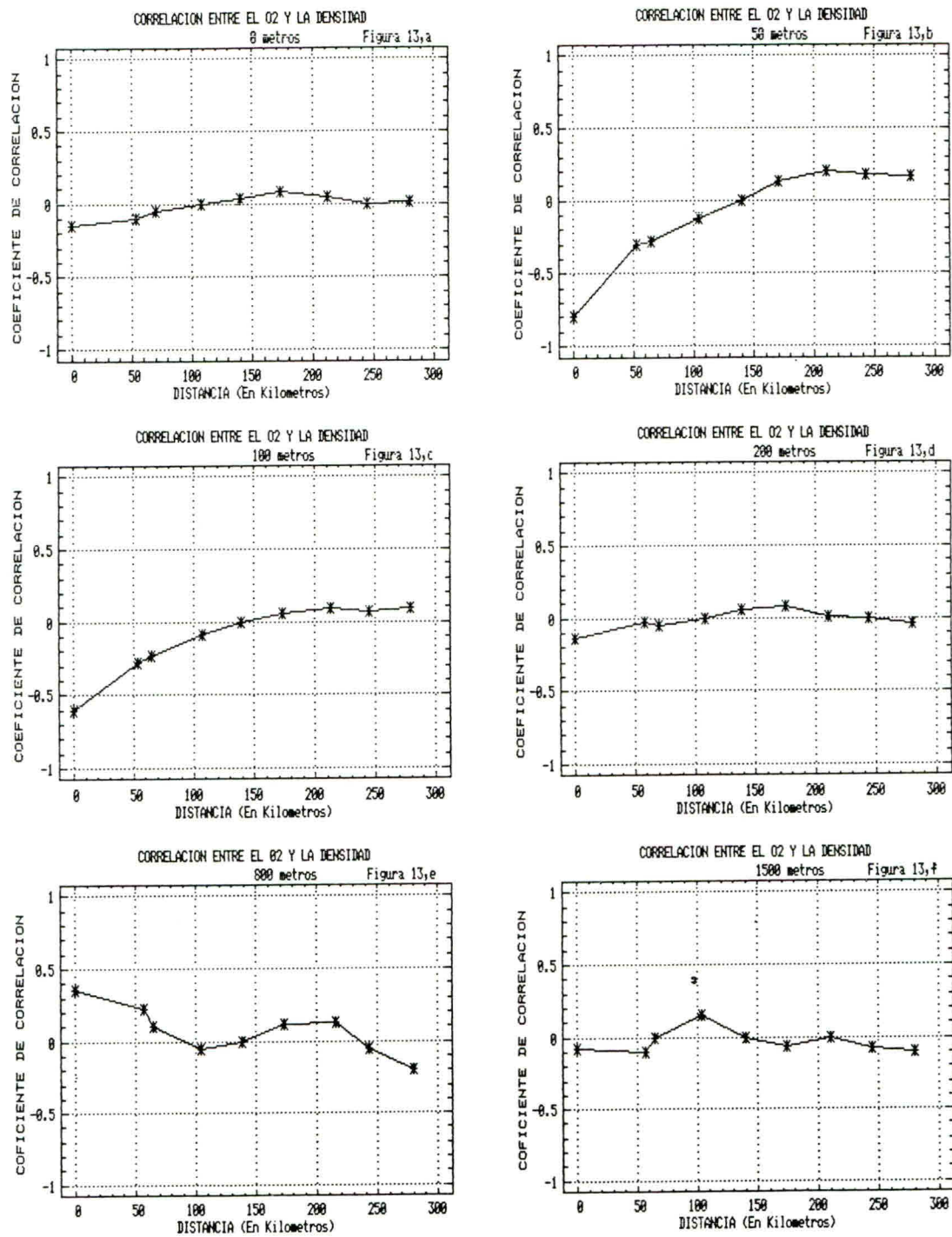
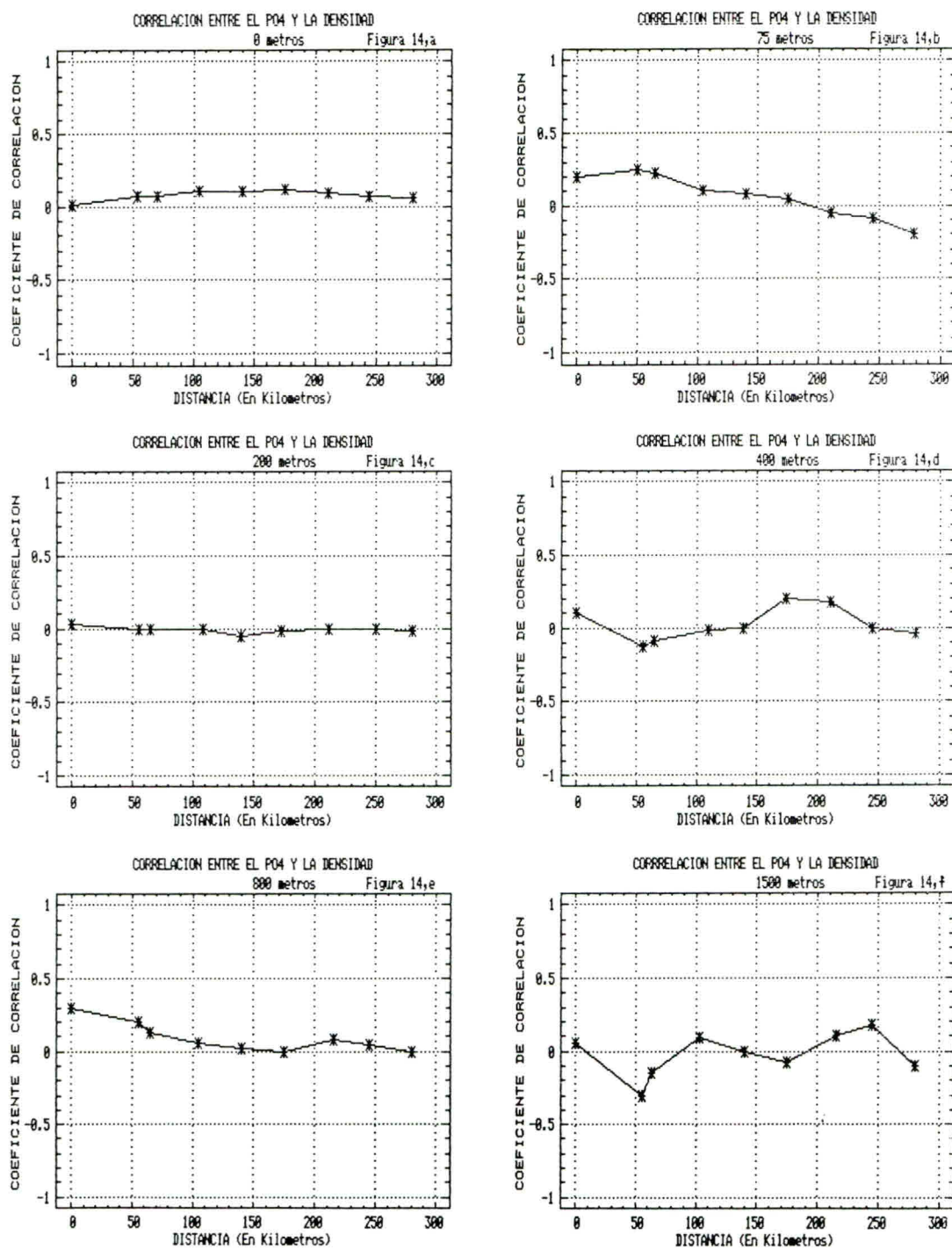


Figura 13.  
Correlación de los campos de oxígeno y densidad.



*Figura 14.  
Correlación de los campos de fosfatos y densidad.*

correlación (280 kilómetros, aproximadamente) supera la discreción espacial de las mediciones (60 kilómetros) en la profundidad correspondiente a la capa de mezcla al igual que en el nivel de la termoclina y en la frontera entre las masas de agua intermedia y profunda. En los niveles restantes, la dimensión horizontal de las zonas uniformes resulta menor que la distancia entre las estaciones oceanográficas donde se han efectuado las mediciones de temperatura y salinidad y, por consiguiente, la estructura espacial del campo de densidad observado se convierte en un valor estadísticamente aleatorio que no refleja las particularidades de los procesos que lo determinan.

Esto puede tener dos causas: el papel determinante que pueden jugar los procesos de baja escala que, posiblemente, ocurren en estos niveles, o un gran porcentaje de error contenido en las observaciones.

El campo de oxígeno (Figura 11) describe apenas satisfactoriamente la región en las siguientes líneas de interfase: mar-aire, capa de mezcla-termoclina, masas de agua intermedia y profunda. Las zonas uniformes de menores dimensiones y con vínculos correlativos poco significativos en su interior se encontraron para los fosfatos, con excepción de la interfase capa de mezcla-termoclina (Figura 12).

De esta forma se concluye, que la información analizada no describe en forma adecuada el comportamiento de los campos de densidad y elementos hidroquímicos en las capas inferiores a la termoclina.

La disminución en las dimensiones de las zonas con estructuras uniformes y el debilitamiento de los vínculos de correlación dentro de los campos estudiados en límites de las capas intermedia y profunda obedecen a un gran porcentaje de error contenido en las series de datos (especialmente en la referente a salinidad y temperatura) o a la intensificación de procesos que ocurren a escalas, menores que la distancia entre las estaciones oceanográficas o la discreción temporal de las mediciones; tales procesos pueden ser de carácter biológico, bioquímico (en el caso de los elementos hidroquímicos), así como procesos hidrológicos no-lineales de tipo ageostrófico o turbulento.

Cabe señalar, que la intensificación del vínculo correlativo y su disminución rápida entre los puntos de un campo, ocurre sobre todo, en zonas de fuertes gradientes espaciales, como en las interfases entre dos masas de agua. Esto, al parecer, obedece a una fuerte influencia de factores dinámicos en la formación de la estructura espacial de estos campos en profundidades determinadas.

Las Figuras 13 y 14 presentan las funciones de correlación cruzada espacial de los campos de oxígeno y fosfatos con la densidad. La función de correlación cruzada espacial (FCC) está definida por la expresión:

$$Rf_1f_2 = \frac{\overline{f'_1(X_iY_i)f'_2(X_jY_j)}}{\sigma_1\sigma_2}$$

donde  $Rf_{12}$  - FCC de los campos  $f_1$  y  $f_2$ ;  $\sigma_1\sigma_2$  - desviación standard de los campos  $f_1$  y  $f_2$ , respectivamente;  $f_1' f_2'$  - producto medio de las desviaciones standard (con respecto a las normas) de los campos en los puntos  $i - j$ , que se encuentran a una distancia  $L$  entre sí.

El análisis ha demostrado que los vínculos más fuertes, existentes entre los campos de oxígeno y fosfatos, se observan en la capa de transición térmica, donde los procesos hidrodinámicos tienen mayor intensidad y los gradientes espaciales son fuertes. Una correlación significativa tiene lugar, asimismo, a los 800 metros; a profundidades mayores tiene lugar un cambio de signo del coeficiente de correlación debido a que el oxígeno comienza a disminuir. Los campos de fosfatos no correlacionan bien con la densidad en los diferentes niveles de profundidad. Se observan señales débiles de correlación a los 75 metros y en la capa de 600 a 800 metros. Debido a que el campo de densidad se forma sólo por la acción de procesos dinámicos; su débil correlación con los campos hidroquímicos nos habla, ya sea de un efecto predominante de los procesos bioquímicos, que rompen la conservatividad de los parámetros hidroquímicos, o de un gran porcentaje de error, contenido en las observaciones.

### **Análisis Cuantitativo de Masas de Agua**

Con el objeto de efectuar un análisis detallado de la estructura hidrológica de la columna de agua en el Caribe colombiano, se efectuó un estudio cuantitativo de las masas de agua en la región, que complementa el análisis cualitativo mencionado al comienzo del documento.

El análisis cuantitativo de masas de agua (Sukhoviei, 1977) permite obtener una imagen mucho más clara de los porcentajes de agua de cada clase, contenida en la columna vertical, así como confirmar las características de éstas en el núcleo y su ubicación exacta. Este método consiste en una división de la región de estudio en volúmenes elementales. Dentro de los límites de cada uno de ellos, la temperatura y la salinidad cambian muy poco, por lo que los valores de éstos en el centro de cada volumen, se pueden considerar característicos. Luego se procede a sumar los volúmenes que contengan temperatura y salinidad iguales (dentro de los límites dados). De este modo se puede definir la cantidad de agua de cada clase, una de las cuales serán masas de agua (los volúmenes más grandes), y las otras serán producto de la mezcla de las primeras.

Los volúmenes elementales  $\Delta Q$  se deben determinar partiendo de la condición de una realización ágil y práctica de los cálculos. Las medidas verticales del volumen se pueden definir por la distancia que hay entre las profundidades de medición.

Debido a que los volúmenes con características iguales, luego son sumados, siempre es conveniente tratar de elegir valores pequeños para  $\Delta Q$ . Sin embargo, como este factor depende esencialmente de la densidad de la red de estaciones y de la cantidad de niveles (profundidades) con observaciones en cada una de ellas, las posibilidades de semejante

parcelamiento no son ilimitadas. Por lo tanto, es necesario encontrar unas dimensiones óptimas para los volúmenes elementales. Probablemente, lo más conveniente es elegir estos valores basándose en las características de la estructura estadística espacial de los campos de temperatura y salinidad del agua en la región estudiada.

La solución del problema debe partir de la definición de las dimensiones de un área elemental  $\Delta S$  con base en la forma que presentan las funciones correlativas espaciales de los parámetros. Es obvio que la distancia desde el centro del área elemental  $S$  hasta sus bordes, debe ser tal que su coeficiente de correlación sea suficientemente grande; en tal caso, no debe ser mayor que el radio de correlación, ya que los valores de los elementos en el centro se refieren a todo el área  $\Delta S$ .

Es de gran importancia hallar las medidas verticales del volumen elemental correctamente, ya que un solo valor de temperatura y salinidad se refiere a todo el volumen  $\Delta Q = \Delta S \times \Delta h$ . Por lo visto, lo más correcto es elegir  $\Delta S$  y  $\Delta h$  basándose en las funciones correlativas tridimensionales de temperatura y salinidad, es decir, autocorrelaciones que reflejen la disminución del vínculo correlativo de un elemento en dos profundidades con el aumento de la distancia horizontal.

Luego la tarea consiste en buscar y sumar los  $\Delta Q$  cuyas temperatura y salinidad sean iguales dentro de los límites dados. Por consiguiente, es necesario determinar de antemano los rangos de estos intervalos, dentro de los cuales podemos considerar que una temperatura y una salinidad dadas pertenecen a una clase.

La clasificación de las aguas se puede realizar con cualquier grado de detalle. Con este objeto, debe tenerse en cuenta que los intervalos para la temperatura y la salinidad deben presentar una amplitud mayor que el error contenido en las mediciones de estos elementos. En caso contrario, el análisis pierde su sentido. Como la estratificación de las aguas de diferentes regiones puede no ser la misma, la pregunta sobre cuán detallada debe ser la clasificación de éstas se puede resolver individualmente para cada región.

El siguiente es el orden en que se realiza el análisis:

1. Introducción del banco de datos  $[\Delta Q_i, T_{ik}, S_{il}]$ , donde  $i$  - número de orden del volumen elemental,  $k$  - clase,  $T$  (temperatura),  $l$  - clase  $S$  (salinidad).
2. Conteo del número  $N$  total de volúmenes elementales.
3. Cálculo del volumen total de la masa de agua  $Q = \sum_{i=1}^N \Delta Q_i$
4. Clasificación del banco  $[\Delta Q_i, T_{ik}, S_{il}]$  en clases  $[T_k, S_l]$

5. Cálculo del volumen de cada clase

$$Q_{kl} = \sum_{i=1}^{n_{kl}} \Delta Q_i$$

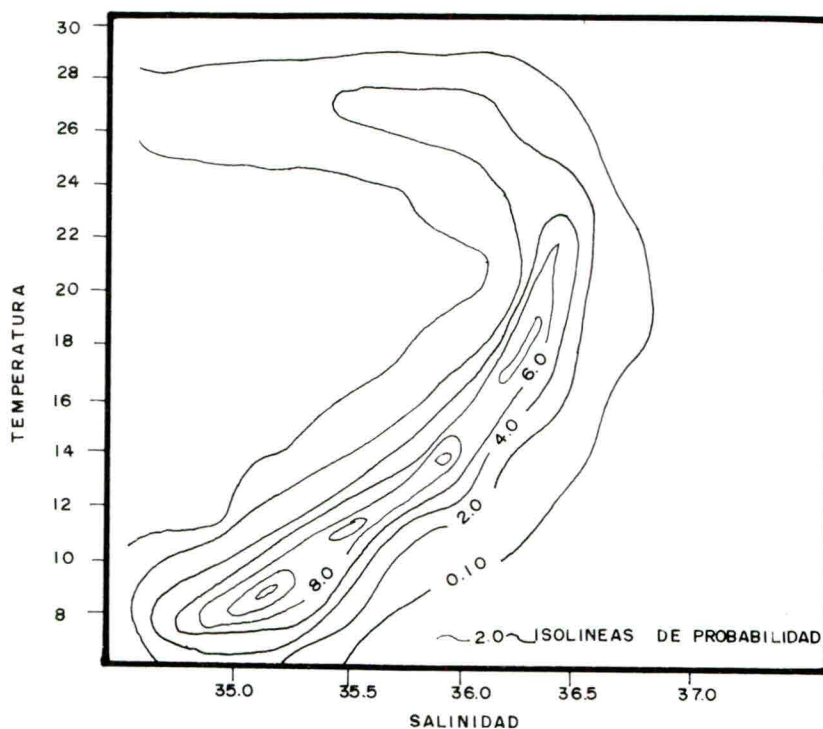
6. Definición del contenido porcentual de agua de cada clase en la masa general del mar o región estudiada

$$q_{kl} = \frac{Q}{Q_{kl}} \times 100.$$

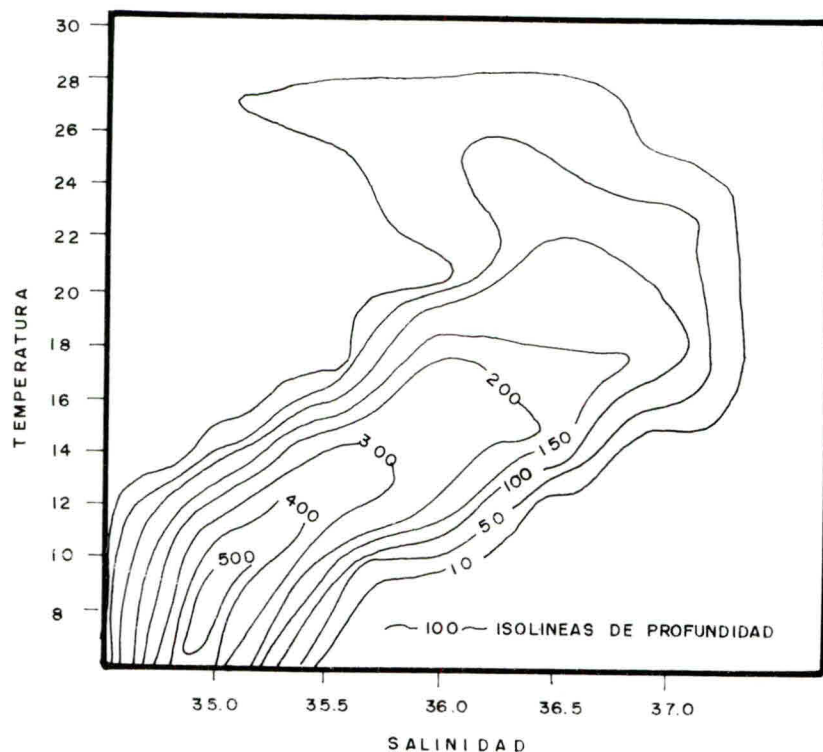
Para realizar el análisis cuantitativo de las masas a partir de la información recogida durante el crucero Océano V, el rango observado de temperaturas del agua (de 6 a 30 grados) fue dividido en diez intervalos iguales de 2 grados, mientras que el de salinidad (34.7 - 37.5‰) lo fue en intervalos de 0.5 ‰.

En la Figura 15 está representada la distribución bidimensional de probabilidad de la temperatura y la salinidad del agua para la capa de 0-500 metros. Se observa que la masa de agua Superficial ocupa un 2% del volumen total correspondiente a los primeros 500 metros de profundidad en la región del Caribe colombiano. Las masas Subsuperficial e Intermedia ocupan un 13%.

Cabe señalar que, en los rangos de temperatura y salinidad correspondientes a la masa de agua Intermedia (5 - 10 grados, 34.7 - 35.3 ‰), sobresalen algunos máximos locales que evidencian la presencia de subclases de dicha masa, producto, al parecer, de movimientos verticales de intensidad variable en diferentes regiones del área estudiada, lo que sugiere la presencia de una mezcla heterogénea de las aguas pertenecien-



*Figura 15.  
Densidad bidimensional  
de probabilidad para la  
temperatura y la  
salinidad.*



*Figura 16.  
Profundidad de ubicación  
de los núcleos.*

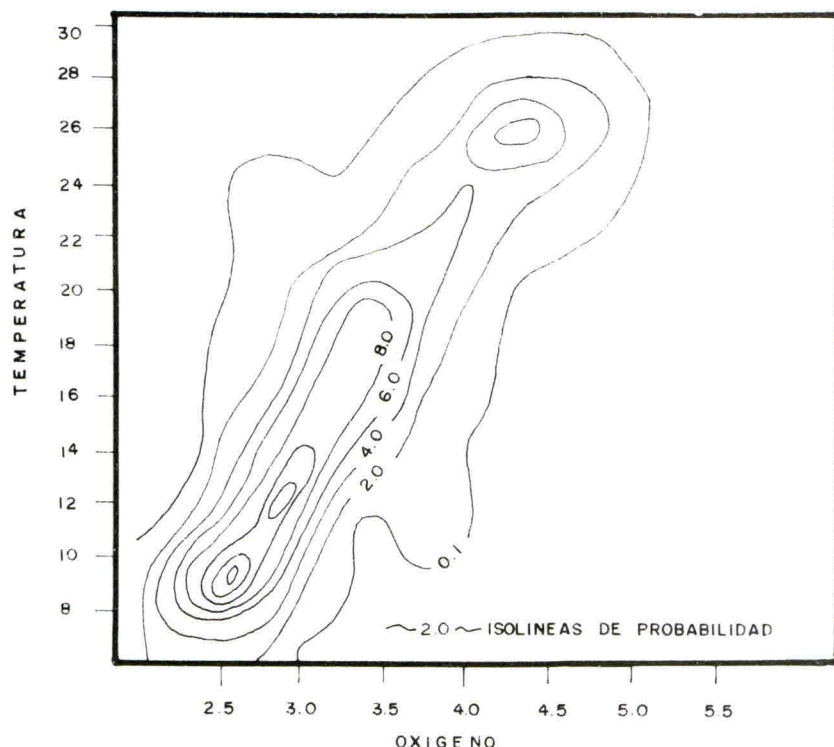


Figura 17.  
Densidad bidimensional  
de probabilidad para la  
temperatura y el oxígeno  
disuelto.

de solucionar el problema creado por la información oceanográfica con escaso margen de confianza y, a la vez, de obtenerla en puntos donde ésta no ha sido registrada o se ha perdido, es la metódica de interpolación óptima (Sukhoviei, 1977).

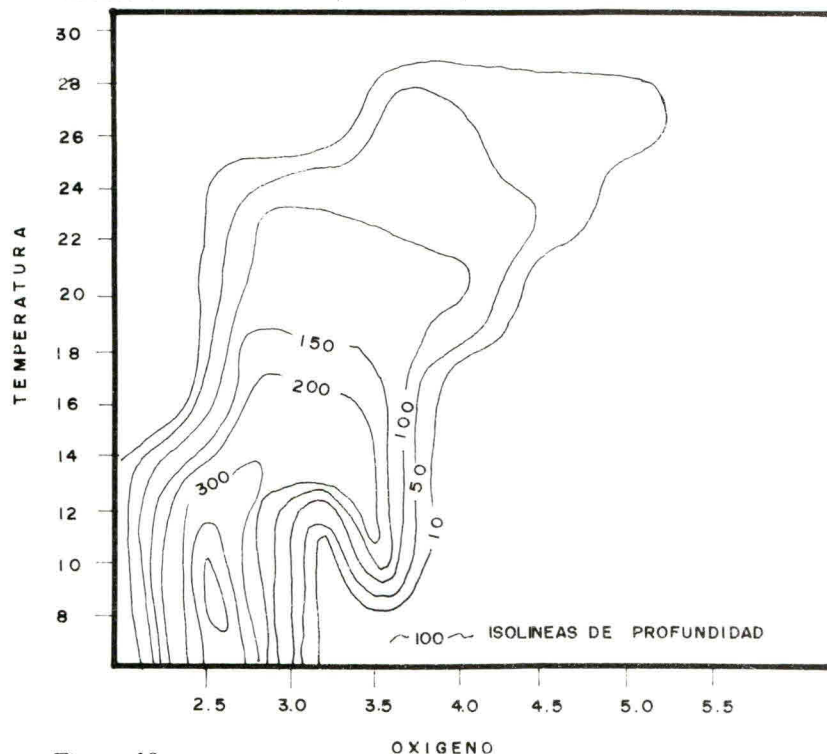


Figura 18.  
Profundidad de ubicación  
de los núcleos.

tes a esta capa con las masas Subsuperficial y Profunda.

La profundidad de ubicación de los núcleos principales y secundarios puede observarse en la Figura 16. Los tipos de agua identificados, así como la existencia de subtipos de agua Intermedia se reflejan también en la distribución bidimensional de probabilidad de temperatura y oxígeno disuelto en la capa de 0 a 500 metros (Figuras 17 y 18).

### La Interpolación Óptima

Una forma práctica y efectiva de solucionar el problema creado por la información oceanográfica con escaso margen de confianza y, a la vez, de obtenerla en puntos donde ésta no ha sido registrada o se ha perdido, es la metódica de interpolación óptima (Sukhoviei, 1977).

El método de interpolación óptima de valores en los nudos de una grilla uniforme o en cualquier punto en general, está basado en el principio de minimización del cuadrado medio del error de interpolación. Para realizar una interpolación óptima es necesario determinar las funciones correlativas de los elementos o sus correspondientes funciones de densidad espectral.

En el caso, cuando los valores de un parámetro registrados en una cantidad  $n$  de puntos (estaciones oceanográficas) contienen un determinado margen de error, el sistema de ecuaciones para encontrar los pesos de interpolación sería el si-

guiente:

$$\sum_{j=1}^n R_{ij}P_j + \rho_i P_i = R_{0i}$$

donde  $R_{0i}$  - coeficientes de correlación entre el nudo de la grilla y los puntos de observación, teniendo en cuenta las distancias entre sí;  $R_{ij}$  - coeficientes de correlación definidos por las distancias entre las estaciones donde se han efectuado las observaciones;  $\rho_i$  - magnitud del error, es decir, la relación del cuadrado del error contenido en las observaciones y la dispersión del elemento.

De este modo, en este sistema de ecuaciones se tienen en cuenta las distancias que hay entre el nudo de la grilla uniforme que deseamos obtener y las estaciones oceanográficas, así como las distancias entre éstas. Este sistema se puede usar, incluso en aquellos casos cuando el nudo coincide con alguna de las estaciones. El peso de la estación, coincidente con el nudo, será el máximo, pero esto no quiere decir que el de las demás será igual a cero: en este caso, la interpolación permitirá disminuir la magnitud del error contenido en las observaciones al tomarse en cuenta la información de las demás estaciones. Este último efecto es más notorio cuando la información que se analiza contiene un alto índice de error.

Cuando la forma de la función correlativa  $R(L)$  de un parámetro se conoce, la incógnita acerca de la distancia  $L$  de tope se resuelve fácilmente; ésta será igual al radio de correlación. La solución del sistema de ecuaciones se simplifica cuando la magnitud del error  $\rho_i$  es igual para todas las estaciones.

## CONCLUSIONES

Está demostrado que un filtrado eficaz de la información oceanográfica es indispensable para la obtención de resultados óptimos durante la aplicación de modelos numéricos. Tales modelos exigen, por lo general, que el error contenido en la información, sea del orden del error intrínseco de los registros. La metodología de interpolación óptima garantiza la minimización del error de la información, a la vez que permite estandarizar la red de datos tanto en sentido horizontal como vertical.

Un método efectivo de control de calidad de la información es el de las curvas T/S involucrando los datos hidroquímicos. En este trabajo, dicho método ha permitido identificar cuatro masas de agua principales que colman la fosa colombiana y, al mismo tiempo, determinar la calidad de la información oceanográfica obtenida durante el crucero Océano V. Como resultado, fueron excluidas ocho estaciones, cuya información no cumple con las exigencias mínimas de calidad al presentar oscilaciones superiores a tres desviaciones estándar.

Las funciones autocorrelativa y cruzada han demostrado que la información recogida durante el crucero Océano V presenta variaciones anómalas a profundidades superiores a los 1000 metros, las que parecen estar relacionadas con aplicaciones incorrectas de las metodías de sondeo en altas profundidades. Esto se concluye si tenemos en cuenta las características relativamente uniformes que presentan las masas de agua en sentido horizontal en el mar Caribe.

La definición de los límites de ubicación de las masas de agua en el mar Caribe así como sus características y el volumen aproximado de éstas se ha llevado a cabo con un alto grado de precisión, pudiendo determinarse que la masa de agua Superficial Ecuatorial Tropical ocupa un 2% del volumen total en la capa de 0 a 500 metros, mientras que las masas Subsuperficial e Intermedia ocupan un 13%. El resto de la fosa se colma con agua Profunda del Caribe.

### RECOMENDACIONES

La metodología empleada en el presente trabajo puede ser empleada para filtrar toda la información disponible. Como se ha observado, no sólo los registros hidrológicos (temperatura y salinidad) pueden ser filtrados, ya que curvas similares a las T/S se pueden construir para las series de nutrientes y oxígeno disuelto.

Lógicamente, los resultados de tales trabajos deben ser confrontados con estudios biológicos y dinámicos del área, que permitan determinar la escala de influencia de estos procesos en las distribuciones de los elementos hidrológicos e hidroquímicos.

Por último, la calidad de la información filtrada, así como de los resultados obtenidos mediante el análisis cuantitativo de las masas de agua en el mar Caribe aumenta al obtenerse la forma definitiva de las funciones correlativas espaciales para los diferentes parámetros oceanográficos. Con el volumen de información disponible en la base de datos del CIOH es posible comenzar el proceso a fin de obtener la forma definitiva de tales funciones, lo que implicaría un avance importante hacia la optimización de las técnicas de interpolación en aguas colombianas.

### BIBLIOGRAFIA

- GIRALDO L., "Análisis Integral de Datos Oceanográficos en el Caribe Colombiano", Tesis de Grado, Ingeniero Oceanólogo. Instituto Hidrometeorológico de Odesa. Rep. de Ucrania. 1992.
- LYAKHIN Yu., "Hidroquímica de las Regiones Tropicales del Océano Mundial". Leningrado, Hidrometeoizdat. 1990.

ROZHKOV B., "Métodos de Análisis Probabilístico de los Procesos Oceanológicos".  
Leningrado, Hidrometeoizdat. 1979.

SUKHOVIEIB., "Varianza de las Condiciones Hidrológicas del Océano Atlántico". Kiev.  
Pensamiento Científico. 1977.