

ESTABILIDAD DE LAS AGUAS DEL PACIFICO COLOMBIANO – MAYO 2000

Nancy Liliana Villegas Bolaños *

División de Oceanografía, Centro Control Contaminación del Pacífico – CCCP
Vía El Morro, Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia
Tél: +57 (2) 727 26 37, Fax: +57 (2) 727 11 80
e-mail: cccp@cccp.org.co
sciplionok@yahoo.com *

Recibido en septiembre de 2001; aceptado en julio de 2002

RESUMEN

Los cálculos de estabilidad E, teniendo en cuenta el *Criterio de Hesselberg-Svedrup* y de frecuencia de *Brunt Vaisala* N se realizan por medio de valores de temperatura y salinidad obtenidos del monitoreo al área de estudio en el mes de mayo del 2000. Los resultados se analizaron con perfiles de estabilidad E (con sus componentes térmico y salino) y de frecuencia N. La estabilidad se analiza también en diferentes capas del área de estudio: 0-10, 10-25, 25-50, 50-75, 75-100 y 100-150 m. Como resultado se tiene que para mayo del 2000 los máximos valores de estabilidad en la Cuenca del Pacífico Colombiano, CPC, se presentan en zonas con mayor posibilidad de intercambio de aguas con propiedades termohalinas diferentes al medio, lo cual se ve en el sector norte y noroeste (aguas cálidas de Panamá) en la capa 10–25 m y en la Zona I (aguas cálidas de la costa) en la capa 0–10 m. Las mayores frecuencias se encontraron en el sector sur de las zonas cercanas a la costa. Las menores frecuencias se observaron en el sector central, sur y suroeste de la CPC.

Palabras Claves: Brunt-Vaisala, Capa, Estabilidad, Frecuencia, Hesselberg-Svedrup, Perfiles Verticales.

ABSTRACT

The calculations of stability, considering the Criterion of Hesselberg-Svedrup and Frequency of Brunt Vaisala are made by means of temperature and salinity obtained from the monitoring to the study area in May 2000. The results were analyzed with profiles of stability (with its thermal and saline components) and of frequency. The stability, is also analyzed in different layers from the study area: 0-10, 10-25, 25-50, 50-75, 75-100 and 100-150 m. The results show that in may 2000, the maximum values of stability in the Colombian Pacific appear in zones with greater possibility of water interchange with different termohalyns properties, which sees in the North sector and the Northwest (warm waters from Panama) in layer 10-25 m and, in the coast zone in layer 0-10 m. The vertical structure of temperature in the study area is very variable and, therefore, this one is the more influences in its stability. The greater frequencies were observed in the South sector of the zones near the coast. The smaller frequencies were observed in the central, South and southwestern sector of the River basin of the Colombian Pacific.

Key Words: Brunt-Vaisala, Layer, Stability, Frequency, Hesselberg-Svedrup, Vertical Profiles.

INTRODUCCIÓN

A través de la determinación de la estabilidad del océano no sólo se puede verificar la calidad de la información oceanográfica (Boyer and Levitus, 1994), sino que también es posible el estudio de la estructura fina del océano (Karlin y Villegas, 2003), conociendo el tipo de estratificación por estabilidad de una región, de acuerdo con la predominancia de sus componentes térmico y salino (estratificación total o absoluta estabilidad - AE, estratificación por 'dedos' salinos - DS, estratificación por convección de capas - CC y absoluta inestabilidad - AI) (Malinin, 1998). Esta estratificación es importante también en la explicación de procesos hidroquímicos en el océano (el déficit de oxígeno en capas profundas de algunas regiones del océano mundial puede estar relacionado con la ausencia de condiciones termohalinas específicas para el funcionamiento de la convección de tipo 'dedos' salinos (Fedorov y Pereskokov, 1991)).

Los valores de estabilidad de las aguas y de la frecuencia N son importantes en los estudios de ondas internas, ya que la condición necesaria para su existencia es la estratificación estable de las aguas; además, N determina la frecuencia de las oscilaciones de dichas ondas (Konyaev y Sabinin, 1992).

Estos son, ente otros, algunos de los aspectos importantes del conocimiento de la estabilidad E (con sus componentes térmico y salino) y de la frecuencia N. En el presente artículo no se busca realizar estudios de ondas internas, ni de la estructura fina (capa fina) del océano, se pretende determinar por primera vez, para el mes de mayo del 2000, el comportamiento de la estabilidad de las aguas en la región de investigación a través de la metodología conocida de cálculos de E y N, utilizada en diversos estudios sobre la CPC (Villegas, 2002).

ÁREA DE ESTUDIO

El área de investigación se localiza en la CPC, entre los meridianos $77^{\circ} 45'$ y $84^{\circ} 00'$ longitud Oeste y los paralelos $1^{\circ} 30'$ y $6^{\circ} 30'$ latitud Norte (Fig.1).

METODOLOGÍA

Los datos utilizados son la temperatura del mar y la salinidad obtenidos en el mes de mayo del año 2000, durante el Crucero Oceanográfico de la Armada Nacional de Colombia XXXII Erfen XXX 2000 (Otero y Pineda, 2000).

Se tomaron como base del análisis vertical los perfiles de algunas estaciones representativas de las siete zonas homogéneas encontradas sobre el Pacífico colombiano en el análisis de cluster (Málikov, 2000), cubriendo hasta los 84° longitud Oeste. A nivel horizontal, el análisis de estabilidad se realiza por medio de las gráficas de las capas 0–10, 10–25, 25–50, 50–75, 75–100 y 100–150 m, que cubren gran parte

de las aguas superficiales. Los cálculos se basan en los conceptos de estabilidad E, según el *Criterio de Hesselberg-Svedrup* y de la frecuencia N de *Brunt Vaisala*.

La expresión que representa a la estabilidad total del océano en dependencia de la distribución vertical de la temperatura y la salinidad conocida como *Criterio de Hesselberg-Svedrup* es (Malinin, 1998):

$$E = \frac{\partial \rho}{\partial S} \frac{dS}{dz} + \frac{\partial \rho}{\partial T} \frac{dT}{dz} + \frac{\partial \rho}{\partial T_A} \frac{dT_A}{dz}$$

donde:

$\frac{\partial \rho}{\partial S}$ es la corrección del cambio de la densidad por el cambio de salinidad;

$\frac{dS}{dz}$ es el gradiente vertical de salinidad;

$\frac{\partial \rho}{\partial T}$ es la corrección del cambio de la densidad por el cambio de temperatura;

$\frac{dT}{dz}$ es el gradiente vertical de temperatura;

$\frac{dT_A}{dz}$ es el gradiente adiabático de temperatura.

Si $E > 0$ se habla de un equilibrio estable, si $E < 0$ es inestable y si $E = 0$ es indiferente. El primer miembro de la ecuación del *Criterio de Hesselberg-Svedrup* representa el aporte de la salinidad en la estabilidad del océano (estabilidad salina) y los dos miembros restantes representan el aporte de la temperatura (estabilidad térmica), por tanto se tiene que: $E = E_s + E_T$. Esta división permite descubrir la influencia relativa de la salinidad y la temperatura en la sumatoria de la *Estabilidad Termohalina*.

La estabilidad vertical cambia, significativamente, entre las épocas cálida y fría en regiones donde se presentan estaciones, sobre todo en las capas superiores del océano (Sverdrup *et al.*, 1970). La región de estudio no presenta estaciones, pero en ella se diferencia una época cálida y una época húmeda; de allí que sería de gran interés analizar si existen variaciones de estabilidad en sus capas a lo largo del año, utilizando promedios mes a mes.

El criterio que caracteriza la frecuencia de las oscilaciones verticales en el océano estratificado se denomina *Frecuencia de Brunt Vaisala* N. Por lo general, los valores mínimos de N en el océano mundial se encuentran entre $10^{-3} - 10^{-4} \text{ seg}^{-1}$ (lo que corresponde a períodos de 1,7 – 17 horas) y los valores máximos llegan a 10^{-2} seg^{-1} (correspondiente a un período de diez minutos), observados en la capa de la termoclina estacional (Malinin, 1998). Entre más frecuentes sean las oscilaciones, más estabilidad

se observa; pero en las aguas de poca estratificación estas oscilaciones son muy lentas y poco reaccionan a la fuerza de Arquímedes (Konyaev y Sabinin, 1992). La *Frecuencia de Brunt Vaisala* se expresa como:

$$N = \sqrt{\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz}}$$

donde:

g es la gravedad;
 ρ es la densidad;
 $\frac{d\rho}{dz}$ es el gradiente vertical de densidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados se realiza por medio de la graficación de los perfiles verticales de estabilidad E, con sus componentes térmico y salino, y de la frecuencia N en 18 estaciones que representan a las siete zonas homogéneas del Pacífico colombiano (Málikov, 2000) y sectores más oceánicos de la CPC (Fig.1).

Entre más cercanas se encuentran las estaciones a la costa, éstas registran una capa superior con predominancia de la estabilidad salina en la estabilidad total. A medida que las estaciones se alejan de la costa, esta capa toma espesores diferentes. Así, en la Zona I se observa una estabilidad positiva en toda la vertical y el componente que predomina en su estabilidad es el salino en la capa 0–30 m, a partir de los 30 m predomina el componente térmico (Fig.2 y 3).

En las zonas II y III, también con estabilidad positiva, el espesor varía entre 0–50 y 0–75 m (Fig.4 y 5).

Un espesor de 0–10 m se observa en las zonas IV, V, VI, VII y zona más oceánica, de estabilidades positivas, donde prácticamente predomina sólo la estabilidad térmica (Fig. 6 y 7); lo cual muestra cómo la predominancia salina se vuelve débil en las zonas de mayor influencia oceánica.

La estabilidad térmica fue el componente que más aportó a la estructura de la estabilidad total en la CPC durante mayo de 2000, ya que los saltos de máximos valores de estabilidad fueron dados por las fluctuaciones de los valores de estabilidad térmica.

Las frecuencias N, observadas en los canales de máximos valores, varían entre 0.024 y 0.042 seg^{-1} , las cuales oscilan en relación a la cercanía o lejanía de la costa. Estos valores permiten ver que la región de estudio presenta constante mezcla de aguas,

regidas por un período de alrededor de diez minutos. Los sectores donde se registraron valores altos de N, en la superficie de 0–10 m, posiblemente hablan de la aparición de las denominadas ondas internas generadas por mareas; las cuales, por lo general, registran alta actividad biológica y química (Konyaev y Sabinin, 1992 y Malinin, 1998).

Las mayores frecuencias N se encontraron en el sector sur de las zonas I y II (Fig.2-5). Las menores frecuencias N se observaron en la Zona IV, sector sur de la Zona V y suroeste de la CPC (Fig.6 y 7).

Las anteriores apreciaciones pueden corroborarse con las gráficas de las capas a nivel horizontal (Fig.8-13).

En la capa 100–150 m los mayores valores de estabilidad ($0.15 - 0.19 \text{ kg/m}^4$) se encuentran en los sectores centrales de las zonas II y III y sector norte de la Zona I. En la capa 75–100 m los mayores valores de estabilidad se encuentran en las mismas zonas, pero más hacia el norte de ellas y con valores hasta de 0.47 kg/m^4 .

En la capa 50–75 m se observa una gran ampliación en la distribución de los valores máximos, lo cual muestra la estabilidad absoluta de esta capa que llega a los 0.9 kg/m^4 . La ampliación de la estabilidad se registra en el sector norte y suroeste del Pacífico colombiano. Los valores más bajos se ubican en los alrededores de la isla de Gorgona y en el sector sureste.

En la capa 25–50 m los valores son más altos aún. Casi toda la región muestra estabilidad absoluta con valores entre $0.4 - 1.56 \text{ kg/m}^4$ y se demarcan muy bien los sectores de estabilidad baja (alrededor de las estaciones 17, 27, 81, 111 y 114).

En la capa 10–25 m los valores de estabilidad llegan a ser negativos en el sector suroeste de la región de estudio. Esto se debe a una estratificación de inestabilidad presentada desde la superficie lo cual se acentúa y amplía en la capa 0–10 m, por la influencia de procesos atmosféricos, como por ejemplo la acción de los vientos.

Lo anterior se percibe también en las gráficas de perfiles de estabilidad, donde la superficie registraba influencia de la estabilidad salina en la estabilidad total, mostrando la interacción con la atmósfera en las capas superiores del océano y caracterizando los sectores con gradientes positivos de temperatura y negativos de salinidad.

En la CPC se presentan los máximos valores de estabilidad ($1.5 - 2.86 \text{ kg/m}^4$) en las zonas que tienen mayor posibilidad de intercambio de aguas con propiedades termohalinas diferentes al medio: sector norte y noroeste (aguas cálidas de Panamá), en la capa 10–25 m y Zona I (aguas cálidas de la costa), en la capa 0–10 m.

CONCLUSIONES

Las verticales de E y N, en mayo de 2000, presentaron una curva típica de aguas marinas. En general, se observó un salto en los valores máximos de E en la capa 10–75 m, lo cual es característico de la región de tipo Ecuatorial–Tropical.

La CPC, en mayo de 2000, presentó una estabilidad positiva en toda la vertical. La estabilidad térmica fue el componente que más aportó a la estructura de la estabilidad total en la región de estudio.

Las estaciones más cercanas a la costa registraron una capa superior con predominancia de la estabilidad salina en la estabilidad total. La predominancia salina se presentó débil fuera de la zona costera.

Las oscilaciones de N fueron similares a las fluctuaciones de estabilidad. Se puede hablar de la existencia de ondas internas en el canal formado por las capas de máximos valores de frecuencia, los cuales variaron entre 0.024 y 0.042 seg^{-1} , de acuerdo con la cercanía o lejanía de la costa.

Las mayores frecuencias N se encontraron en el sector sur de la zona costera. Las menores frecuencias N se observaron en el sector central, sur y suroeste de la CPC.

En las capas 100–150 y 75–100 m los mayores valores de estabilidad se encontraron en sectores centrales del área de estudio y el norte, cerca a la costa.

En la capa 50-75 m se observó una estabilidad absoluta en el sector norte y suroeste del Pacífico colombiano. Los valores más bajos se ubicaron en los alrededores de la isla de Gorgona y en el sector sureste.

En la capa 25–50 m casi toda la región mostró estabilidad absoluta y se demarcaron sectores de estabilidad baja al noreste y suroeste de la CPC.

En la capa 10–25 m los valores de estabilidad llegaron a ser negativos en el sector suroeste de la región de estudio.

Los máximos valores de estabilidad en la CPC se presentaron en las zonas con mayor posibilidad de intercambio de aguas con propiedades termohalinas diferentes al medio, lo cual se observó en el sector norte y noroeste (aguas cálidas de Panamá), en la capa 10–25 m y en la Zona I (aguas cálidas de la costa), en la capa 0–10 m.

Los cálculos de estabilidad E y de frecuencia N se realizaron con la información de temperatura y salinidad obtenida en el crucero de Mayo de 2000. Se sugiere realizarlos con los valores promedios mensuales del área de estudio a fin de conocer la existencia de variaciones estacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boyer, T. and S. Levitus. 1994. Quality control and processing of historical oceanographic temperature, salinity, and oxygen data. NOAA Technical Report NESDIS 81, 64 pp.

Fedorov, K. y A. Pereskokov. 1991. Tipificación de las Condiciones Termohalinas de Estratificación en el Océano Mundial. Colección de Trabajos de Fedorov K. N. sobre Oceanología Física. Leningrado : Hidrometeoizdat, p. 127–135.

Karlin, L. y N. Villegas 2003. Separación de las Capas de la Cuenca del Pacífico Colombiano (CPC) Según la Predominancia de Diferentes Mecanismos de Formación de Estructura Fina// Material de la sección final del Consejo Científico 27 – 28 enero 2003. Parte II. Sección de Oceanología, Ecología y Física del Medio Ambiente Natural. San Petersburgo: Ed. RSHU, p. 26–28.

Konyaev, K. y K. Sabinin. 1992. Ondas Internas del Océano. San Petersburgo : Hidrometeoizdat, 272 pp.

Málikov, I. 2000. Determinación de Zonas Homogéneas dentro del Pacífico Colombiano con base en toda la Información Disponible. Informe técnico. San Andrés de Tumaco : CCCP, Colombia

Malinin, V. 1998. Oceanología General. Primera Parte. Procesos Físicos. San Petersburgo : RSHMU, 342 pp.

Otero, L. y A. Pineda. 2000. Informe Crucero Oceanográfico Pacífico XXXII Erfen XXX 2000. Informe técnico. San Andrés de Tumaco : CCCP, Colombia.

Sverdrup, H., M. Johnson y R. Fleming. 1970. The Ocean: Their Physics, Chemistry, and General Biology. Prentice Hall, 1087 pp.

Villegas, N. 2002. Capa Subsuperficial en la Cuenca del Pacífico Colombiano (CPC) y su Modelación// Material de la sección final del Consejo Científico 30-31 enero 2002. San Petersburgo : Ed. RSHU, p. 125–126.

FIGURAS Y TABLAS

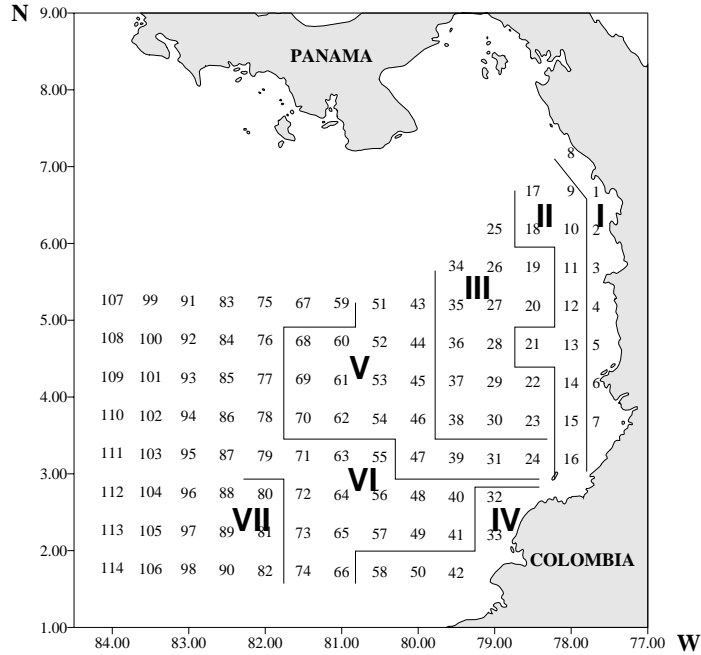


Figura 1. Zonas homogéneas y estaciones oceanográficas sobre el Pacífico colombiano.

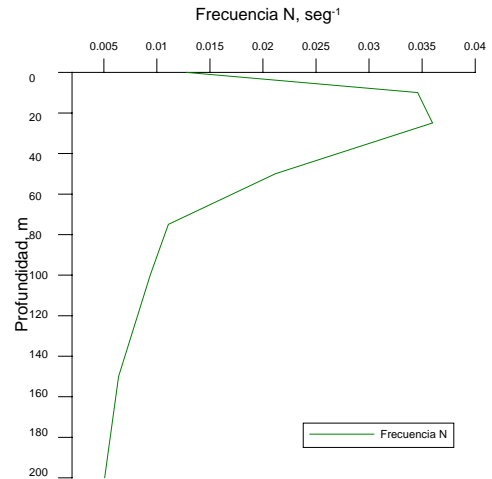
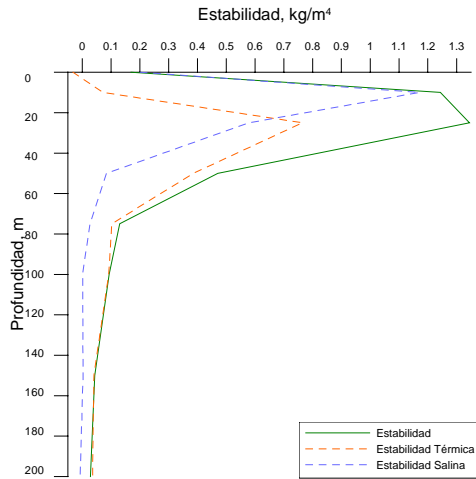


Figura 2. Perfil de estabilidad E. Estación 1. Figura 3. Perfil de frecuencia N. Estación 1. Mayo de 2000, Pacífico colombiano.

Estabilidad, kg/m^4

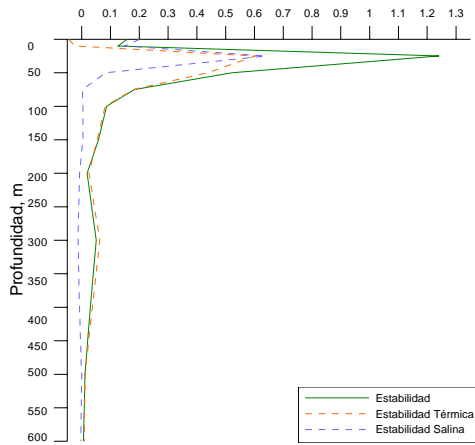


Figura 4. Perfil de estabilidad E. Estación 12. Mayo de 2000, Pacífico colombiano.

Frecuencia N, seg^{-1}

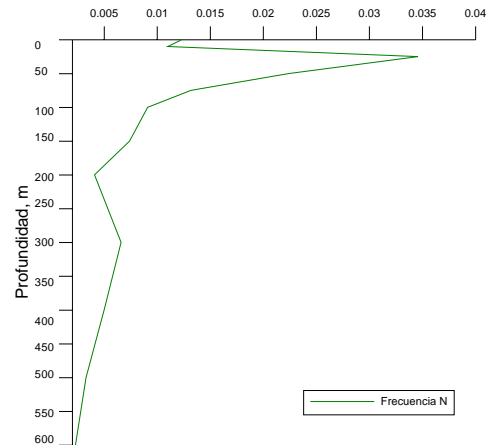


Figura 5. Perfil de frecuencia N. Estación 12. Mayo de 2000, Pacífico colombiano.

Estabilidad, kg/m^4

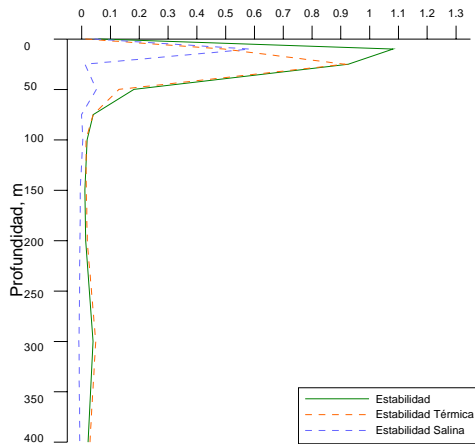


Figura 6. Perfil de estabilidad E. Estación 111. Mayo de 2000, Pacífico colombiano.

Frecuencia N, seg^{-1}

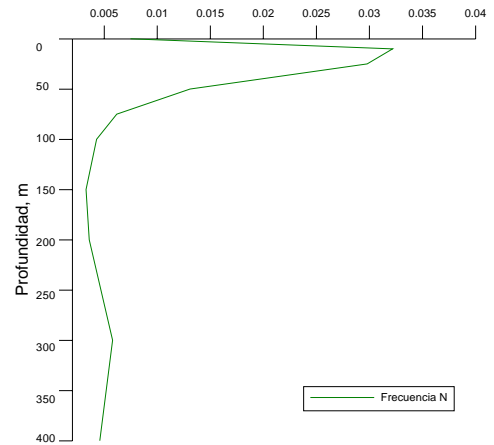


Figura 7. Perfil de frecuencia N. Estación 111. Mayo de 2000, Pacífico colombiano.

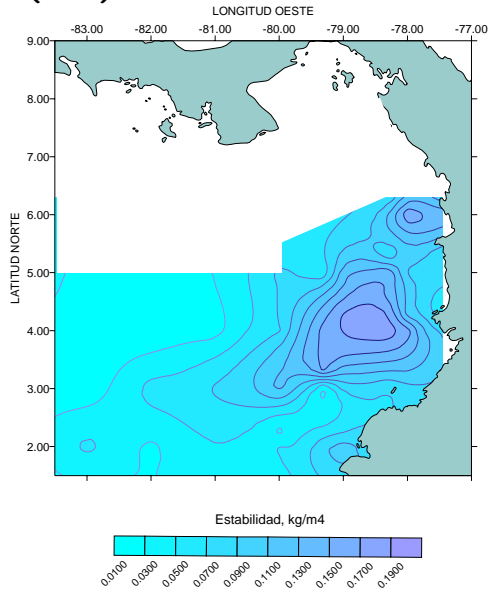


Figura 8. Estabilidad capa 100–150 m. Mayo de 2000, Pacífico colombiano.

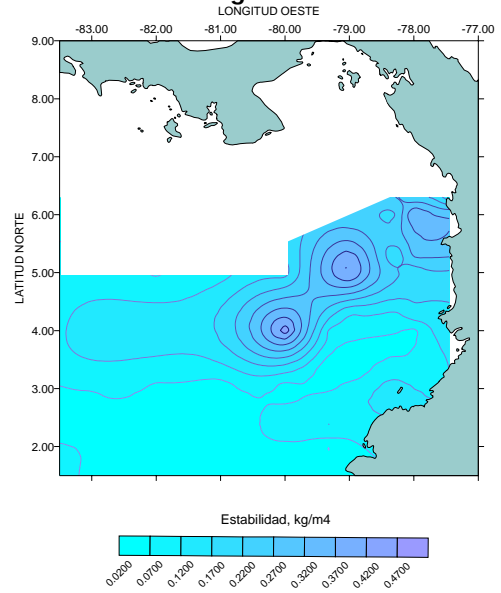


Figura 9. Estabilidad capa 75–100 m. Mayo de 2000, Pacífico colombiano.

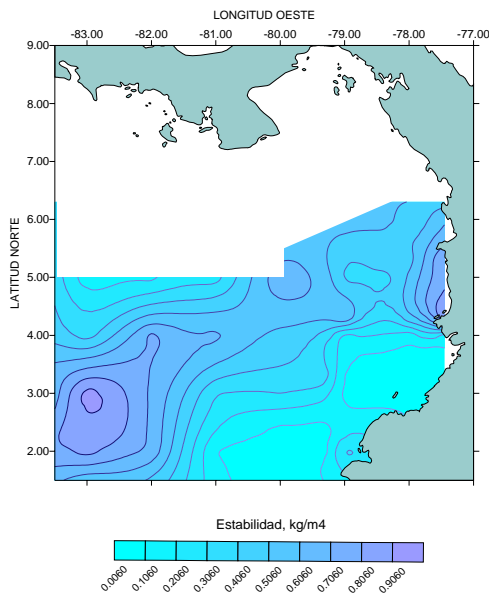


Figura 10. Estabilidad capa 50–75 m. Mayo de 2000, Pacífico colombiano.

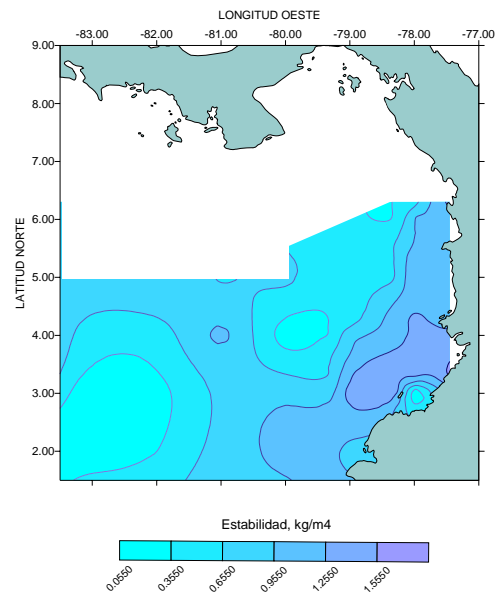


Figura 11. Estabilidad capa 25–50 m. Mayo de 2000, Pacífico colombiano.

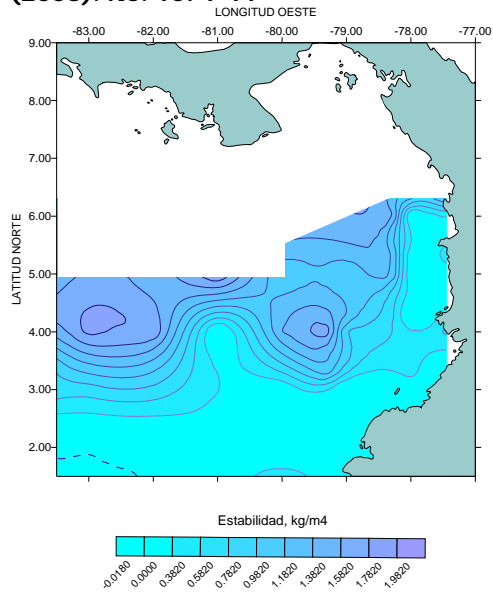


Figura 12. Estabilidad capa 10–25 m. Mayo de 2000, Pacífico Colombiano.

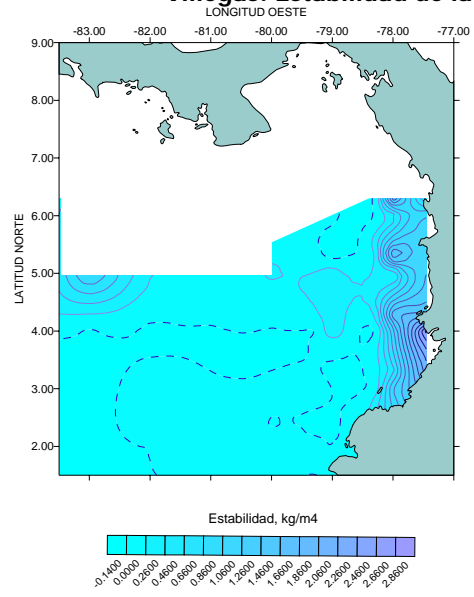


Figura 13. Estabilidad capa 0–10 m. Mayo de 2000, Pacífico colombiano.