

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS.



CIRCULACION GEOSTROFICA EN LA
REGION DEL DOMO DE COSTA RICA

TESIS

QUE PARA OBTENER LA LICENCIATURA EN OCEANOLOGIA ES PRESENTADA

POR:

FRANCISCO JOSE GAVIDIA MEDINA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA; NOVIEMBRE DE 1983.

DEDICATORIA

A mi familia

A Maria mi compañera

Los filósofos se han limitado a -
interpretar el mundo de distintos
modos; pero de lo que se trata es
de transformarlo.

C. Marx

A G R A D E C I M I E N T O S.

Agradezco en forma particular a las diferentes personas que hicieron posible sacar adelante este trabajo en tan corto tiempo, aunque considero que debo a su vez agradecerles a todas aquellas personas que han intervenido en mi formación en todos los aspectos, inclusive en el académico.

De manera especial agradezco al grupo de trabajo del Laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México: Fernando Santiago, Francisco Ruiz, Agustín Fernández, Artemio Gallego y José Barberán; al maestro René Pinet por su valiosa ayuda en el desarrollo del presente trabajo, así como en los diferentes cursos que nos impartió a lo largo de la carrera de Oceanología; y a los sinodales del presente trabajo profesional por sus sugerencias, que hicieron posible mejorar la calidad del presente trabajo: Cuauhtémoc Nava B., Adolfo González C., René de la Paz V., Luis Fok P.

Francisco José Gavidia Medina.

R E S U M E N

Un estudio de la circulación baroclínica en la región del Domo se efectuó empleando el método geostrofico. Se trabajaron 108 estaciones hidrográficas realizadas en Julio y Agosto de 1982. Asimismo, se estimó el transporte debido a la corriente geostrofica en la zona.

De la aplicación del método y de los mapas, cortes verticales y gráficas que se generaron, se pueden mencionar los siguientes resultados principales: 1) La circulación presentaba el giro ciclónico alrededor del centro de baja presión, característico del Domo. 2) La velocidad máxima del giro se encontró al Norte del centro del Domo con un valor de 0.6 m/s. 3) El giro presentó un transporte máximo de $24 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. en 88° W y 9° N . 4) El centro del Domo se localizó entre los 88° y 89° W y los 9° y 10° N . 5) Las temperaturas más bajas en superficie se encontraron en el centro del Domo (menores a 28° C .) y hacia el ecuador donde se encontraron temperaturas de 27° C . 6) La densidad en el centro del Domo fue ligeramente mayor que la encontrada en el resto de la zona (21.5 Kg/m^3).

I N D I C E

1. I N T R O D U C C I O N

2. D E S C R I P C I O N D E L A Z O N A

2.1. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL DOMO.

2.2. EL FENOMENO DE LA ONDULACION EN LA TOPOGRAFIA DE LA
TERMOCLINA.

3. L O S D A T O S Y E L M E T O D O

3.1. DESCRIPCION DE LA RED DE ESTACIONES Y LOS DATOS.

3.2. EL METODO GEOSTROFICO.

4. I N T E R P R E T A C I O N D E R E S U L T A D O S

4.1. DISTRIBUCION HORIZONTAL DE LA DENSIDAD Y LA
TEMPERATURA.

4.2. PERFIL DE LA SUPERFICIE DEL MAR.

4.3. CORRIENTE GEOSTROFICA EN SUPERFICIE.

4.4. TOPOGRAFIA DE ISOPICNAS.

4.5. TOPOGRAFIA DINAMICA.

4.6. CORTES VERTICALES DEL CAMPO DE DENSIDAD.

4.7. CORTES VERTICALES DEL CAMPO DE ALTURA DINAMICA.

4.8. CORTES VERTICALES DEL CAMPO DE LA VELOCIDAD
GEOSTROFICA.

4.9. GRAFICAS DE TRANSPORTE.

5. CONCLUSIONES

6. RECOMENDACIONES

7. REFERENCIAS

INDICE DE FIGURAS:

- Figura # 1.- Red de estaciones de la Campaña DOMO-IV, indicándose los dos transectos principales (I, II) y el transecto perpendicular a la costa (III).
- Figura # 2.- Distribución horizontal de la temperatura. (Unidades: °C.).
- Figura # 3.- Distribución horizontal de la densidad, representada por Sigma-T (σ_t). (Unidades: Kg/m³).
- Figura # 4.- Perfil de la superficie del mar (10 db/1000 db) en el transecto I. (Unidades: m-din).
- Figura # 5.- Perfil de la superficie del mar (10 db/1000 db) en el transecto II. (Unidades: m-din).
- Figura # 6.- Representación de la corriente geostrófica en superficie con vectores Oeste-Este. (Unidades m/s).
- Figura # 7.- Representación de la corriente geostrófica en superficie con vectores Sur-Norte. (Unidades: m/s).
- Figura # 8.- Topografía de la isopícnica de 24.5 Kg/m³ representada por Sigma-Theta (σ_θ). (Unidades: m).

- Figura # 9.- Topografía de la isopícnica de 26.5 Kg/m³ representada por Sigma Theta (σ_θ). (Unidades: m).
- Figura # 10.- Topografía dinámica de 10 db, relativa a 1000 db. (Unidades: m-din).
- Figura # 11.- Topografía dinámica de 50 db, relativa a 1000 db. (Unidades: m-din).
- Figura # 12.- Topografía dinámica de 100 db, relativa a 1000 db. (Unidades: m-din).
- Figura # 13.- Corte vertical del campo de densidad, representada por la sigma potencial (σ_θ), en el transecto I. (Unidades: Kg/m³).
- Figura # 14.- Corte vertical del campo de densidad, representada por la sigma potencial (σ_θ), en el transecto II. (Unidades: Kg/m³).
- Figura # 15.- Corte vertical del campo de anomalía de altura dinámica en el transecto I. (Unidades: m-din).
- Figura # 16.- Corte vertical del campo de anomalía de altura dinámica en el transecto II. (Unidades: m-din).
- Figura # 17.- Corte vertical del campo de velocidad geostrofica relativa a 1000 db en el transecto I. (Unidades: m/s). El signo (-) indica corrientes hacia el Este.
- Figura # 18.- Corte vertical del campo de velocidad geostrofica relativa a 1000 db en el transecto II. (Unidades: m/s).

m/s.). El signo (-) indica corrientes hacia el Norte.

Figura # 19.- Gráfica del transporte neto a través del transecto I, en toda la columna de agua relativo a 1000 db. El transporte total en el transecto fué de $18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. en dirección Este. (Unidades. Por $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$).

Figura # 20.- Gráfica del transporte neto a través del transecto II, en toda la columna de agua relativo a 1000 db. El transporte total en el transecto fué de $30.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. en dirección Norte. (Unidades. Por $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$).

Figura # 21.- Gráfica del transporte neto a través del transecto III en toda la columna de agua relativo a 1000 db. El transporte total en el transecto fué de $21.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. en dirección Noroeste. (Unidades. Por $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$).

1. INTRODUCCION

El presente trabajo se realizó conjuntamente con el Personal del Laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se trabajaron los datos de la Cuarta Campaña Oceanográfica que se ha realizado en la región del Domo de Costa Rica por parte del I.C.M.L. Dicho Crucero se realizó a bordo del Barco Oceanográfico "El Puma" el año de 1982 en los meses de Julio y Agosto. Las tres Campañas anteriores se llevaron a cabo en un lapso de 2 años, realizándose un número similar de estaciones a las efectuadas en la Cuarta Campaña (Domo-IV). Esta serie de campañas tienen como objetivo el realizar un estudio completo de la zona, que abarque los aspectos biológicos, químicos y físicos, por lo que en principio, se continuarán haciendo expediciones a la región del Domo.

Los objetivos de este trabajo son, hacer una descripción de la circulación baroclínica de la zona, y estimar el transporte a partir del patrón de corrientes que se encontró. Se midieron diferentes parámetros de los cuales únicamente se utilizaron en el presente trabajo los que describen el campo de masa (temperatura, salinidad). De la red de estaciones del Domo-IV, se utilizó principalmente un transecto largo localizado en 9° Norte y que abarcó de los 84° 30' a los 96° 30' Oeste; otro

localizado en $88^{\circ} 30'$ Oeste y abarcó de los 2° a los $12^{\circ} 30'$ Norte, y el tercero perpendicular a la costa enfrente del Golfo de Fonseca (FIGURA # 1). Los resultados de este trabajo se pueden considerar como preliminares de un estudio más completo de la circulación en la zona, como también complementarios de un trabajo más global que abarque otros aspectos de interés, que podrían ser producción primaria, cuadro sinóptico de las especies marinas, etc., el cual permitiría un mejor conocimiento de la zona para su explotación racional.

Aunque se han llevado a cabo varias Expediciones que cubrieron el Pacífico Tropical Oriental, son pocos los trabajos en que se menciona el Domo de Costa Rica. De la literatura consultada, el trabajo más específico de la región es el de Wyrski (1964), quien utilizando los datos obtenidos en el crucero Domo de Costa Rica efectuado por la Scripps Institution of Oceanography a fines de 1959, describe las características principales del Domo.

El presente trabajo consta de las siguientes secciones: Descripción de la zona. En esta sección se pretende caracterizar el área de estudio, a partir de los trabajos realizados en el Pacífico Tropical Oriental y se da una explicación del fenómeno de la "ondulación" que ocurre en la topografía de la termoclina en todo el Pacífico. El fenómeno de la "ondulación" explica la

existencia del Domo. Los datos y el método. Se describe la red de estaciones realizada en la cuarta campaña (Domo - IV) y las características del muestreo. Se da una explicación secuencial de los diferentes pasos que se siguieron en el procesamiento de los datos para obtener los valores de velocidad geostrófica y a partir de éstos, los valores de transporte. Además se da una breve descripción del método dinámico mencionando las ventajas y limitaciones que presenta. interpretación de resultados. Se explican los resultados haciendo comparaciones, cuando es posible, con resultados de trabajos anteriores o con otros resultados de este trabajo. Los resultados pueden ser divididos en cuanto a la información que proporcionan: a) Dan información acerca de las características de la superficie del mar en la región (4.1., 4.2., 4.3.). b) Presentan el patrón de circulación a diferentes niveles (4.4., 4.5) c) Son una primera aproximación de la variación vertical y horizontal de la densidad, altura dinámica y velocidad geostrófica (4.6., 4.7., 4.8.). d) Dan una estimación del transporte de masa en la región (4.9.). Conclusiones. Se presentan las conclusiones principales de este trabajo. Se menciona el porqué de la importancia del estudio del Domo de Costa Rica. Recomendaciones. Se hacen una serie de recomendaciones acerca de trabajos complementarios que en conjunto servirían para una mejor descripción de la región.

2. DESCRIPCION DE LA ZONA

El Domo de Costa Rica es una zona de surgencia no costera localizada enfrente de las costas del país del mismo nombre; según el trabajo de Wyrski (1964), el centro se encuentra localizado a unos 334×10^3 m. de la costa, que en coordenadas geográficas equivale a 8° N y 88° W, mientras que el levantamiento de la termoclina se da en un área de aproximadamente 232×10^3 a 278×10^3 m de radio. (Wyrski, Figura # 1; 1964).

Wooster y Cromwell (1958), efectuaron una descripción oceanográfica del Pacífico Tropical Oriental, basados en los datos obtenidos en Primavera y Verano de 1952, de un estudio conjunto realizado por diferentes instituciones oceanográficas, en donde hacen referencia a la presencia del Domo termal de Costa Rica.

Cromwell (1958), realiza un estudio de la topografía de la termoclina y de las corrientes en el Pacífico Tropical Oriental, tomando en cuenta la importancia que tiene para la ecología de las especies, las zonas de afloramiento como la que se presenta en el Domo de Costa Rica.

Como se ha mencionado antes, el estudio más específico es el llevado a cabo por Wyrcki (1964), quién utilizó los datos obtenidos en el Crucero del Domo de Costa Rica de Noviembre a Diciembre de 1959, y los comparó con los datos obtenidos por el "Explorer" en Febrero de 1960. Estos trabajos remarcen que la importancia del estudio de la zona se debe, entre otras cosas, al mejor aprovechamiento de los recursos pelágicos, y a la ampliación del conocimiento del sistema de corrientes del Pacífico Ecuatorial y su relación con la topografía de la termoclina.

2.1. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL DOMO.

A partir de estas investigaciones, los rasgos característicos del Domo se pueden resumir de la siguiente manera:

- a).- Es una región en donde la termoclina alcanza profundidades menores a los 10 m, y en algunos casos aflora a la superficie del mar (Wyrcki, Figura ^{II}/_{IV} 1; 1964).
- b).- La capa superficial presenta altas concentraciones de fosfatos y silicatos así como una alta productividad sugerida por los volúmenes de zooplancton. Estas características en general, se reflejarán en aguas superficiales más densas - en el centro del Domo que en la periferia, (Wooster y - - Cromwell, p. 178; 1958).
- c).- En cuanto al sistema de corrientes horizontales, generalmente se acepta que el Domo se encuentra al Norte de la --

Contracorriente Ecuatorial y al Oeste de la Corriente Costera de Costa Rica que se dirige hacia el Norte, donde -- pueden presentarse ramales de la Corriente Norecuatorial -- que determinan junto con las dos corrientes mencionadas -- anteriormente, una circulación ciclónica alrededor del Domo (Wyrtki, p. 362; 1964).

d).- Con referencia a la topografía de la termoclina en el Pacífico Tropical Oriental, en Verano del hemisferio Norte -- el Domo se localiza en el extremo Oriental de una convexidad que se orienta de Este a Oeste, que se encuentra en la frontera Norte de la Contracorriente Ecuatorial. (Cromwell, Figura 1-C; 1958).

e).- El movimiento vertical presente en la región del Domo se define como un "afloramiento dinámico", término que utiliza Dietrich (1935) en una región de termoclina somera, localizada al Sureste de las Costas de Africa (Dietrich, 1935; citado por Cromwell, 1958). Dicho término se refiere a que las concavidades y convexidades de la topografía de la termoclina, están ligadas a un par de corrientes superficiales en direcciones opuestas que por conservación de masa, producen divergencia en la capa superficial entre éstas, y convergencia en la capa que se encuentra inmediatamente debajo de la termoclina. Por otro lado, al disminuir el grosor de la capa superficial, se facilita la acción dispersadora del viento sobre ésta, permitiendo el recambio por agua de fondo rica en nutrientes. (Cromwell, Figura # 4; 1958).

Tomando en cuenta los datos con que contamos y los objetivos del trabajo, fijaremos nuestra atención en el inciso c).

El sistema de corrientes horizontales que se presenta en el Océano Pacífico, en particular en el Pacífico Tropical Oriental, está ampliamente estudiado (Knauss, 1963; Cromwell y Bennett, 1959; Meehl 1982; Jerlov, 1953; Yoshida, 1967; Reid, 1948). La Contracorriente Ecuatorial se encuentra localizada entre los 5° y 10° N, dirigida de Oeste a Este hasta por lo menos los 90° de longitud Oeste, mientras que al Norte y al Sur de ésta, dirigidas hacia el Oeste se encuentran la Corriente Norecuatorial y la Corriente Surecuatorial, respectivamente (Knauss, 1963).

Asimismo, en las distribuciones verticales de densidad de tres transectos llevados a cabo en el Pacífico Central (Jerlov, Figuras # 1, 2 y 3; 1953), se distinguen la divergencia al Norte de la Contracorriente y la convergencia al Sur de la misma, sobre todo en los transectos localizados en los $127^{\circ} 30' W$ y en los $149^{\circ} 45' W$.

En los perfiles verticales de velocidad obtenidos por geostrofia (Jerlov, Figuras # 6, 7 y 8; 1953), podemos observar la Corriente Surecuatorial con velocidades hasta de 1.0 m/s., la Contracorriente Ecuatorial presenta valores hasta de 0.6 m/s. y la Corriente Norecuatorial con velocidades de 0.1 m/s.

Meehl (1982), presenta gráficas de promedios anuales de las componentes "U" y "V" promediadas zonalmente, obtenidas a partir de OCDS (Ocean-Current Data Set), donde se distingue un máximo de la componente "U" en 5° de Latitud N para el mes de Julio, de 0.25 m/s. que representaría la Contracorriente Ecuatorial y un máximo de 0.2 m/s. en 15° N, que correspondería a la Corriente Norecuatorial.

Cromwell y Bennett (1959), trazaron mapas de deriva superficial para la región del Pacífico Tropical Oriental comprendida entre los 0° y 30° de Latitud N, los 120° de Longitud W y la línea de costa. La Corriente Norecuatorial se presenta de Noviembre a Mayo, siendo en Enero cuando alcanza su máxima velocidad, existiendo evidencias de una corriente débil en Agosto. A lo largo del año está centrada en 10° N, mientras que en Agosto sube a 12.5° N. Cuando la Corriente Norecuatorial no es evidente (Junio a Octubre), la circulación es hacia el Noroeste por lo menos entre los 15° y 20° N. La Contracorriente Ecuatorial está claramente desarrollada en Agosto y Septiembre,

no presentándose de Febrero a Abril. Se encuentra centrada en 7° N durante Agosto y Septiembre, variando su posición en el transcurso del año. Al Este de los 90° W la Contracorriente se desvía hacia el Norte, aunque en ciertos meses continúa hacia el Sur o hacia el Este, como en Junio que las aguas fluyen dentro del Golfo de Panamá.

2.2. EL FENOMENO DE LA "ONDULACION" EN LA TOPOGRAFIA DE LA TERMOCLINA.

Se acepta que en las latitudes bajas cerca del Ecuador, el Océano se puede considerar como un sistema de dos capas claramente separadas, por la termoclina: una capa superficial muy mezclada y esencialmente homogénea; y la capa de fondo, homogénea y con un descenso de temperatura menos marcado (Austin, 1960). Este hecho se ve reflejado en la distribución vertical de las propiedades, de la misma manera que en la variación horizontal que éstas presentan.

Al analizar la topografía de la termoclina en el Océano Pacífico, se pueden distinguir como características una serie de zonas de convexidad y concavidad dirigidas principalmente de Este a Oeste. Estas zonas de convexidades y concavidades presentan variaciones estacionales que dan lugar a levantamientos o depresiones aisladas, algunas de ellas, como en el caso del Domo, se manifiestan a lo largo del año (Wyrski, 1964 y Cromwell, 1958).

Este fenómeno de variación estacional se conoce como "ondulación". Cromwell (1958), quien introduce el término, da la siguiente explicación cualitativa. Las zonas de convexidad y concavidad largas, están relacionadas al sistema de corrientes presentes en el Pacífico y por lo tanto, a la variación estacional en la posición de las mismas. En el caso particular de la frontera entre la Contracorriente Ecuatorial y la Corriente Norecuatorial, existe una zona de convexidad. La Contracorriente se dirige de Oeste a Este, mientras que la Norecuatorial se desplaza en sentido opuesto; en medio de las Corrientes se produce una divergencia en la capa superficial y una convergencia bajo la termoclina. Ambos movimientos determinan, por un lado, el levantamiento de la termoclina entre las corrientes y hundimientos de la capa estable debajo de ellas.

Este proceso permite el adelgazamiento de la capa superficial facilitando de esta manera algunos mecanismos de dispersión (efecto del viento) y de mezcla vertical en la capa superficial que determinan el enriquecimiento de la misma. La mezcla vertical es el mecanismo que permite el intercambio de agua entre la parte superior de la termoclina y la capa superficial (Cromwell, 1958). En el caso particular del Domo también hay que agregar que la circulación ciclónica alrededor del centro de baja presión, dispersa el agua superficial del centro hacia la periferia.

3. LOS DATOS Y EL METODO

3.1. DESCRIPCION DE LA RED DE ESTACIONES Y LOS DATOS.

De Julio a Agosto de 1982 se realizó el Crucero Domo-IV, en la región del Domo de Costa Rica. La red de estaciones abarcó de los 84° a los 97° W y de los 2° a los 12° N, aproximadamente; sobre esta región se efectuaron 108 estaciones cubriendo varios transectos, la separación promedio entre cada una de las estaciones es de 30' geográficos, lo que equivale a unos 55 X 10³ m aproximadamente; hubieron dos transectos principales en dirección Oeste-Este y Sur-Norte, que junto con una serie de transectos menores con iguales orientaciones y un transecto perpendicular a la costa, cubrieron la zona. (FIGURA # 1). Parte del procesamiento de los datos se realizó utilizando únicamente las estaciones de los dos transectos largos y del transecto perpendicular por considerarse que eran suficientes para cubrir los objetivos del trabajo. Cabe decir que para el trazado de los planos horizontales (topografías), como para las distribuciones horizontales, se utilizaron las 108 estaciones. La profundidad máxima promedio de los lances en cada estación fue de 1000 m, aunque ésta dependió de la topografía del fondo del mar, ya que algunos alcanzaron más de los 1000 m.

En cada estación oceanográfica se realizaron mediciones

de diferentes parámetros, de los cuales los utilizados en este Trabajo son presión, temperatura y salinidad (a partir de la conductividad). La temperatura, conductividad y presión se midieron con un CTD-NBIS (Neil Brown Instruments Systems). La siguiente tabla presenta los intervalos de precisión con que el CTD mide los diferentes parámetros:

PARAMETRO	PRECISION	RANGO
Presión	± 1.6 db	0 - 1600 db
Temperatura	$\pm 0.005^{\circ}$ C.	-3° - 32° C.
Conductividad	± 0.005 mhoms	1 - 65 mhoms

El tratamiento inicial de los datos consistió en obtener los valores para las variables dependientes (Sigma-in situ, Sigma-t, Sigma-theta, Salinidad, Temperatura Potencial), a partir de las variables independientes que en este caso son Presión, Temperatura y Conductividad. A continuación estos valores fueron filtrados para eliminar el ruido en la señal; a partir de los datos filtrados, los parámetros se interpolaron cada metro de profundidad para su posterior procesamiento. Para estudiar la propagación del error en la medición de los parámetros iniciales a las variables de éstos obtenidos, se sustituyó la Presión, Temperatura y Conductividad, y sus respectivos límites de precisión, en los algoritmos con que se calcularon las diferentes sigmas y la salinidad. Con esto se obtuvieron los siguientes errores máximos acumulativos:

PARAMETRO	VARIABLE	ERROR PROMEDIO	E. MAX. ACUMUL.
	PRESION		
SALINIDAD	TEMPERATURA		$0.5 \times 10^{-3} \text{ ‰}$
	CONDUCTIVIDAD	$0.5 \times 10^{-3} \text{ mhoms.}$	
	PRESION	$0.5 \times 10^{-3} \text{ db.}$	
SIGMA insitu	TEMPERATURA	$0.5 \times 10^{-3} \text{ ° C.}$	$1.5 \times 10^{-2} \text{ Kg/m}^3$
	CONDUCTIVIDAD	$0.5 \times 10^{-3} \text{ mhoms.}$	
	PRESION	$0.5 \times 10^{-3} \text{ db.}$	
SIGMA-t	TEMPERATURA	$0.5 \times 10^{-3} \text{ ° C.}$	$1.5 \times 10^{-2} \text{ Kg/m}^3$
	CONDUCTIVIDAD	$0.5 \times 10^{-3} \text{ mhoms.}$	
	PRESION	$0.5 \times 10^{-3} \text{ db.}$	
SIGMA-theta	TEMPERATURA	$0.5 \times 10^{-3} \text{ ° C.}$	$1.5 \times 10^{-2} \text{ Kg/m}^3$
	CONDUCTIVIDAD	$0.5 \times 10^{-3} \text{ mhoms.}$	

El filtro se diseñó a partir de los perfiles verticales de las diferentes variables sin filtrar, en donde se estimaba el tamaño óptimo del filtro que se iba a utilizar para cada una de las variables. La finalidad era suavizar la señal filtrando el error sistemático que se debe principalmente a la pérdida de sensibilidad del aparato por la edad del mismo.

El procesamiento de los datos que prosiguió a la interpolación de los mismos, fue el siguiente. Se calculó la anomalía de volumen específico necesaria para conocer la anomalía de altura dinámica. Conociendo la altura dinámica, se calculó la velocidad. Para el cálculo del flujo, se utilizó la relación de

transporte $Q = \bar{V} \times A$, donde A es el área a través de la cual se desea conocer el transporte.

3.2. EL METODO GEOSTROFICO.

El método geostrofico, también conocido como método dinámico, es ampliamente utilizado en el estudio de las corrientes en los océanos. Las razones más importantes para su utilización intensiva y extensiva son: la suficiente precisión con que se obtienen las mediciones de temperatura y salinidad, lo extremadamente caro que implica colocar un arreglo de correntímetros que puedan estar midiendo la corriente (rapidez y dirección), simultáneamente en una región del Océano con el riesgo de perderlos. Las limitaciones principales que presenta el método son: no se puede utilizar directamente en el Ecuador donde el Parámetro de Coriolis se hace cero, y el hecho de que se obtiene una corriente relativa a un cierto nivel de referencia en donde se presupone que la velocidad es cero.

La característica principal del movimiento geostrofico es que únicamente considera cambios en el tiempo cuando hablamos de una escala temporal grande. Es importante mencionar que en el caso de sistemas de corrientes ecuatoriales, se acepta que se encuentran en balance geostrofico en una primera aproximación (Knauss, 1963).

El método dinámico es un método indirecto que calcula las corrientes que se rigen por una ecuación de movimiento que considera únicamente el gradiente horizontal de presión y la aceleración debida a la rotación de la tierra. El método dinámico es un método euleriano, ya que estudia el movimiento del fluido en un punto fijo en el espacio, observando la variación del campo de masa.

La ecuación geostrofica nos da la componente de la corriente entre dos isóbaras cualesquiera, y su dirección es perpendicular al plano vertical formado por las dos estaciones de referencia. La velocidad bajo estas circunstancias depende directamente de la pendiente de las isóbaras, en términos matemáticos la ecuación se escribe así:

$$(V_1 - V_2) = \frac{10(\Delta D_A - \Delta D_B)}{L \times f} \quad (1)$$

Donde;

V_1 = Velocidad de la corriente sobre la isóbara de estudio.

V_2 = Velocidad de la corriente en el nivel de referencia.

ΔD_A = Anomalia de la profundidad dinámica en la Estación A.

ΔD_B = Anomalia de la profundidad dinámica en la Estación B.

f = El Parámetro de Coriolis formado por dos veces la velocidad angular de la tierra, multiplicado por el seno de la latitud promedio de las dos estaciones ($f = 2\omega \text{SEN}\phi$).

L = Distancia entre las dos estaciones.

Notemos que la velocidad relativa al nivel de referencia, se aproxima a la velocidad absoluta, cuando V_2 se aproxima a cero. El problema del cálculo de la velocidad absoluta en el método dinámico, se reduce a poder escoger un nivel de referencia que coincida con el nivel de no movimiento, o escoger un nivel de referencia con una velocidad conocida por otro método. En nuestro caso se utilizó el criterio que para un primer cálculo de las corrientes geostróficas en una zona en donde la profundidad del fondo del mar en promedio, se puede considerar mayor a los 2000 m, se puede trabajar con la profundidad de 1000 m como nivel de referencia (Fomin, 1964). En realidad este criterio es válido mientras no estemos trabajando en la vecindad del fondo del mar, donde los términos debidos a la fricción son importantes. En nuestro caso el otro criterio que se tuvo para trabajar con la profundidad de 1000 m. como nivel de referencia, fue que ésta fue la profundidad máxima común a todos los lances.

En la misma ecuación podemos ver que la velocidad depende en forma directa, de qué tan inclinada esté la isóbara con respecto a una superficie geopotencial. Dicha inclinación viene dada por la diferencia de las anomalías de altura dinámica en cada estación. Asimismo, la velocidad depende inversamente de

la distancia entre las estaciones y del seno de la latitud promedio. De estos dos factores la distancia entre los puntos puede ser variada en la etapa de planeación del muestreo. El valor de L en la red de estaciones que se ocuparon en el presente trabajo, fue de 30 minutos geográficos, que equivalen a 55,597.8 m, suponiendo que un minuto geográfico corresponde a una milla náutica en cualquier latitud, y ésta equivale a 1,853.26 m.

En cuanto al seno de la latitud, hay que recordar que en el rango de latitudes que trabajamos (de 2° a 12° N), la función seno crece rápidamente por lo que el efecto del Parámetro de Coriolis sobre la velocidad de la corriente, crece con la misma rapidez a medida que nos alejamos del Ecuador.

Por último, la velocidad angular de la tierra se puede considerar constante y es la que se necesita para dar una vuelta completa (2π radianes) en un día sideral (aproximadamente 24 horas), esto nos da un valor de $7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$.

La ecuación de movimiento para fluidos es la representación matemática de las fuerzas específicas que rigen el movimiento de un fluido. Basados en la Segunda Ley de Newton, la ecuación de movimiento la podemos escribir como la suma de las fuerzas específicas externas e internas que actúan sobre el

fluido, causándole una aceleración. Se entiende por fuerza específica aquella que actúa sobre una masa unitaria.

En el caso particular de las corrientes geostroficas, las fuerzas que se consideran son la debida al gradiente de presión total, a la rotación de la tierra y al campo gravitacional, de tal manera que la ecuación de movimiento en notación vectorial y referida a un sistema de coordenadas rectangulares de mano izquierda, es decir con el Eje Z positivo hacia abajo, el Eje X positivo hacia el Este y el Eje Y positivo hacia el Norte, que describe el movimiento en tres dimensiones, se escribe como: (Pond y Pickard, 1978)

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} = -\alpha \nabla P - 2\vec{\Omega} \times \vec{V} + \vec{g} \quad (2)$$

La ecuación (2) se refiere a corrientes aceleradas sin fricción. Para obtener las ecuaciones que gobiernan las corrientes geostroficas en cada una de las direcciones, tenemos que hacer algunas suposiciones más (Neumann, 1968). Por ejemplo, la ecuación para la dirección X quedaría como:

$$2\omega \sin \theta \, v = -\alpha \frac{\partial P}{\partial x} \quad (3)$$

Siendo;

$\frac{\partial P}{\partial x}$ = Gradiente de presión en dirección X.

α = Volumen específico.

v = Componente de la velocidad en dirección Y.

ϕ = Latitud sobre la que se esté trabajando.

ω = Magnitud de la velocidad angular de la tierra.

El gradiente horizontal de presión se descompone en la componente baroclínica que se debe a la heterogeneidad horizontal del campo de densidad y la componente barotrópica que se debe a la pendiente de la superficie del mar. Es importante recordar que al aplicar el método geostrófico, únicamente se calcula la componente baroclínica de la corriente geostrófica (Sverdrup, 1942). Actualmente las mediciones desde satélites con altímetros, permiten determinar la pendiente de la superficie del mar con la suficiente precisión para determinar la componente barotrópica y entonces sí calcular la corriente geostrófica tomando en cuenta sus dos componentes.

4. INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1. DISTRIBUCION HORIZONTAL DE LA DENSIDAD Y TEMPERATURA.

En la distribución horizontal de la temperatura se localizan las temperaturas más bajas en el centro del Domo (menores a 28° C.), mientras que temperaturas mayores a los 28° C., se localizan cerca de la costa; hacia el Ecuador se encuentran temperaturas de 27° Centígrados. Las temperaturas bajas del centro del Domo son indicadoras del movimiento vertical que ocurre en la región (FIGURA # 2).

En la distribución de densidad, representada por Sigma-t (σ_t), los valores menores están cerca de la costa (20.0 , 20.5 Kg/m³), mientras que los valores mayores se encuentran hacia el Ecuador y en el centro del Domo (21.5 Kg/m³). Nuevamente las densidades altas que se encuentran en el centro del Domo caracterizan aguas de mayor contenido de nutrientes provenientes de capas a mayor profundidad (FIGURA # 3). En el trabajo de Wyrski (1964), las temperaturas en superficie reportadas son en general menores a las encontradas en el presente trabajo, pero aún dentro del rango las temperaturas más bajas se localizan en el centro del Domo (Wyrski, Figura 2a; 1964). En cuanto a la densidad, Wyrski también reporta las salinidades más altas en el centro del Domo (Wyrski, Figura 2b;

1964). Wooster y Cromwell (1958), en relación con la densidad, reportan valores de concentración de silicatos y fosfatos relativamente altos en el centro del Domo (Wooster y Cromwell, Perfil XVa; 1958).

4.2. PERFIL DE LA SUPERFICIE DEL MAR.

El perfil de la superficie del mar nos da una información cualitativa de las corrientes geostroficas en la zona. Dependiendo de hacia donde se incline el perfil así será la dirección de la corriente, mientras que la magnitud de la corriente está en proporción directa con la inclinación de la isóbara. Los valores numéricos de las pendientes nada más sirven como puntos de referencia para la comparación entre las pendientes, dado su orden de magnitud (menores a 10^{-6}).

En el perfil de la isóbara de 10 db. relativa a 1000 db., del transecto I, se distinguen tres cambios de pendientes. Entre los 2° y 7° N la pendiente se levanta hacia el Ecuador con un valor de 2.2×10^{-7} m-din./m; entre los $7^{\circ} 30'$ y $9^{\circ} 30'$ N, la pendiente se levanta también hacia el Ecuador con un valor de 3.2×10^{-7} m-din./m; y entre los $9^{\circ} 30'$ y $12^{\circ} 30'$ N la pendiente se levanta hacia el Norte con un valor de 1.03×10^{-6} m-din./m. Las dos primeras pendientes indican corrientes hacia el Este, mientras que la tercera indica una corriente hacia el W (FIGURA # 4).

En el perfil de la isóbara de 10 db referida a 1000 db, del transecto II se presentan cuatro cambios de pendiente. Entre los 92° y $96^{\circ} 30' W$, la pendiente se levanta hacia el Este con un valor de 2.2×10^{-7} m-din./m; entre los $88^{\circ} 30'$ y $90^{\circ} 30' W$, la pendiente se levanta hacia el W con un valor de 4.1×10^{-7} m-din./m; entre los $86^{\circ} 30'$ y $88^{\circ} W$ la pendiente se levanta hacia el Este con un valor de 5.4×10^{-7} m-din./m, y entre los $84^{\circ} 30'$ y los $86^{\circ} W$ la pendiente se levanta hacia el Este con un valor de 2.4×10^{-7} m-din./m. Las tres pendientes que se levantan hacia el Este indican corrientes dirigidas al Norte, mientras que la que se levanta hacia el Oeste indica un flujo de agua hacia el Sur (FIGURA # 5).

4.3. CORRIENTE GEOSTRÓFICA EN SUPERFICIE.

Se grafican vectores en dirección Oeste-Este y Norte-Sur que representan la componente zonal y meridional de la corriente geostrófica superficial. En el mapa de la componente zonal se distingue un flujo predominantemente hacia el Este entre los 2° y $8^{\circ} N$, mientras que entre los 9° y $12^{\circ} N$ la dirección del flujo es hacia el Oeste (FIGURA # 6). En el mapa de la componente meridional el flujo es predominantemente hacia el Norte a excepción de los 89° y $92^{\circ} W$ donde se presentan flujos hacia el Sur. En este último mapa los vectores que se trazaron en el transecto perpendicular a la costa, indican un flujo hacia el Sureste cerca de la costa (FIGURA # 7). En general la distribución de flujos que aparecen en la representación de la

corriente geostrófica superficial por medio de vectores, coincide con las pendientes del perfil de la superficie del mar.

4.4. TOPOGRAFIA DE ISOPICNAS.

Se presentan las topografías de dos superficies de igual densidad representativas de la termoclina. La densidad es representada por la SIGMA-theta (σ_θ). La isopicna de 24.5 Kg/m³ caracteriza el centro de la termoclina en la región y la de 26.5 Kg/m³ el fondo de la misma. Dado que la densidad es una propiedad conservativa, los contornos de su topografía son líneas de flujo. En la topografía de 24.5 Kg/m³ se distingue claramente la circulación ciclónica alrededor del levantamiento de la termoclina, que alcanza profundidades menores a los 20 m (FIGURA # 8); en la de 26.5 Kg/m³ podemos observar el giro hacia el Norte de la Contracorriente y que el levantamiento de la termoclina alcanza los 25 m de profundidad en el centro del Domo (FIGURA # 9).

4.5. TOPOGRAFIA DINAMICA.

Se presentan topografías dinámicas de 10 db, 50 db y 100 db, relativas a 1000 db. En la de 10 db el valor máximo se encuentra cerca de la costa (1.70 m-din.), mientras que en el centro del Domo la altura dinámica es menor a 1.45 m-din. La circulación ciclónica característica del Domo, se distingue alrededor del centro de baja presión; las líneas de flujo se

encuentran más cerca unas de otras al Norte del Domo que al Sur, indicando una mayor velocidad de la corriente geostrofica entre los 10° N y la costa. El flujo al Sur del Domo, se encuentra centrado en 5° N; al Norte del Domo el flujo se localiza alrededor de los $10^{\circ} 30'$ N, y el giro hacia el Norte del flujo se encuentra centrado en 86° W. El cierre de la circulación ciclónica al Oeste del Domo, se encuentra localizado en $91^{\circ} 30'$ W. (FIGURA # 10).

En la topografía dinámica de 50 db es posible observar también la circulación ciclónica, encontrándose nuevamente las líneas de flujo más cerca, unas de otras, al Norte del Domo que al Sur. El valor máximo sigue encontrándose cerca de la costa (1.45 m-din.), mientras que en el centro de la región, la altura dinámica es de 1.25 m-din. La localización del flujo alrededor del Domo no varía en forma significativa con respecto a la topografía dinámica de 10 db; la magnitud de la velocidad indicada por la separación entre las líneas de flujo, disminuye en relación a la encontrada en la topografía dinámica anterior (FIGURA # 11).

En la topografía dinámica de 100 db el giro ciclónico de la circulación se distingue con menor intensidad, únicamente encontrándose indicios del flujo hacia el Este centrados en 5° N y de la corriente hacia el Oeste centrada en $10^{\circ} 30'$ N (FIGURA #

12). En el trabajo de Wyrthi (1964), se presentan topografías de 0, 50, 200 y 300 db. referidas a 1000 db. Así como en las topografías del presente trabajo, es posible distinguir el giro alrededor del centro de baja presión, distinguiéndose la misma disminución de la velocidad en la vertical. (Wyrthi, Figura # 6; 1964). En cuanto al posicionamiento del centro del Domo, éste aparece más hacia el Sur y hacia el Este (Wyrthi, Figura # 6; 1964) de como aparece en las topografías del presente trabajo.

4.6. CORTES VERTICALES DEL CAMPO DE DENSIDAD.

Se presentan dos cortes verticales del campo de densidad, representada por la SIGMA-theta (σ_θ), uno en dirección Oeste-Este y otro en dirección Sur-Norte. En el corte Sur-Norte la isopicna de 21 Kg/m³ intercepta la superficie del mar entre los 9° 30' y 10° N acompañada de un levantamiento de la termoclina y la termoclina está centrada en los 50 m de profundidad (FIGURA # 13).

En el corte Oeste-Este la isopicna que intercepta la superficie del mar en varios puntos es de 21 Kg/m³; entre los 87° 30' y los 89° 30' W la intercepción con la superficie es acompañada con un levantamiento de la termoclina; entre los 91° 30' y los 96° W la isopicna de 21 Kg/m³ vuelve a interceptar la superficie. La termoclina se encuentra centrada en los 25 m de profundidad y está comprendida entre las isopicnas de 21 Kg/m³.

y la de 26 Kg/m^3 . Por lo anterior, el centro del Domo se localizó entre los $87^\circ 30'$ y los $89^\circ 30' \text{ W}$ (FIGURA # 14). Al comparar los dos cortes, lo que más resalta es que en el corte Sur-Norte las diferentes pendientes que encontramos en la termoclina son más pronunciadas que en el corte Oeste-Este, como es de esperarse, ya que la circulación de la zona y en general en el Pacífico, es predominantemente zonal (paralela al Ecuador). Tomando en cuenta que en los trópicos (latitudes bajas), la temperatura es el factor determinante de la densidad, compararemos estos cortes verticales con cortes del campo de temperatura. En el trabajo de Wyrтки (1964), se presentan dos distribuciones verticales de la temperatura a partir de las observaciones realizadas en Noviembre-Diciembre de 1959 y Febrero de 1960 (Wyrтки, Figura # 1; 1964). En dichos cortes el centro del Domo aparece entre los $7^\circ 30'$ y $8^\circ 30' \text{ N}$ y los $87^\circ 30'$ y $88^\circ 30' \text{ W}$, por lo que se localizó al Sur y ligeramente hacia el Este de donde se encontró en Julio-Agosto de 1982.

4.7. CORTES VERTICALES DEL CAMPO DE ALTURA DINAMICA.

Se presentan dos cortes verticales del campo de altura dinámica, ocupando los dos transectos largos de la red de estaciones, el I y II. En el corte Sur-Norte la intercepción de las líneas de altura dinámica constante con la superficie, se da entre los 9° y 10° N , acompañada de un levantamiento del campo en toda la vertical (FIGURA # 15). En el corte Oeste-Este las líneas interceptan la superficie entre los 88° y 89° W y entre

los 91° y 92° W, en ambos casos la intercepción es acompañada de un levantamiento de las líneas del campo en toda la vertical (FIGURA # 16).

4.8. CORTES VERTICALES DEL CAMPO DE LA VELOCIDAD GEOSTROFICA.

A partir de los dos transectos principales de la red de estaciones, se diseñaron cortes verticales del campo de velocidad geostrófica. En el Transecto I se distinguen 3 corrientes principales y una menor al Norte del transecto. Centrada en $5^{\circ} 30' N$, se localiza una corriente hacia el Oeste con velocidad de 0.3 m/s. en superficie y de 0.1 m/s. a 300 m de profundidad; en $8^{\circ} 30' N$ hay una corriente hacia el Este de 0.4 m/s. en superficie y 0.2 m/s. a 400 m de profundidad; en $10^{\circ} 30' N$ se encuentra una corriente hacia el Oeste de 0.6 m/s. en superficie y 0.1 m/s. a 250 m de profundidad; y al Norte del transecto, se encuentra una corriente subsuperficial que se dirige hacia el Este, con dos núcleos a saber, uno de 0.3 m/s. a 75 m de profundidad y el otro de 0.1 m/s. desde los 75 m hasta los 500 m o más (FIGURA # 17).

En el corte Oeste-Este observamos 3 corrientes principales y una menor al Este del transecto. Centrada en $91^{\circ} 30' W$ se localiza una corriente hacia el Sur de 0.3 m/s. en superficie y de 0.1 m/s. a 100 m de profundidad; en $87^{\circ} 30' W$ se localiza una corriente hacia el Norte con velocidades de 0.4 m/s.

en superficie y 0.2 m/s. a una profundidad de 450 m; en 86° W la corriente se dirige hacia el Norte con una velocidad en superficie de 0.5 m/s. y de 0.2 m/s. a 100 m de profundidad; en el extremo oriental del transecto se localiza una corriente de 0.2 m/s. en superficie y 0.1 m/s. a 50 m de profundidad (FIGURA # 18). Wyrtki (1964), reporta un valor de 0.43 m/s. en superficie para la Contracorriente Ecuatorial, que coincide con el valor que presenta la corriente centrada en $8^{\circ} 30' N$ (0.4 m/s.) y cercano al valor encontrado en la corriente centrada en $5^{\circ} 30' N$ (0.3 m/s.).

4.9. GRAFICAS DE TRANSPORTE.

En la gráfica de transporte neto del transecto I se distinguen 3 máximos, 2 en dirección Este y uno en dirección Oeste. El primer máximo hacia el Este está centrado en $4^{\circ} 30' N$ y tiene un valor de cerca de $16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$; el segundo está centrado en $8^{\circ} 30' N$ y tiene un valor de $23 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$, y el máximo en dirección Oeste está centrado en $10^{\circ} 30' N$ y presenta dos valores extremos, uno de $14 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$ y el otro de $19 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$ Los dos máximos hacia el Este representarían el transporte de la Contracorriente, mientras que el que se dirige hacia el Oeste se debe en parte al retorno de la misma, a la Corriente Norecuatorial y a ramales de la corriente costera de Costa Rica (FIGURA # 19).

En la gráfica de transporte neto del transecto II hay 4 máximos a considerar, tres en dirección Norte y uno en dirección Sur. El primer máximo en dirección Norte está centrado en 86° W y tiene un valor de $15 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$; el segundo está centrado en 88° W con un valor de $24 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$; y el tercero está localizado en los 94° W con un valor de $15 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$ El máximo en dirección Sur está centrado en 89° W y tiene un valor de $11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$ El máximo de 86° Oeste se debería en parte al giro de la Contracorriente y al aporte de la corriente costera a la zona, el de 88° W esencialmente al giro de la Contracorriente y el de 89° Oeste al cierre de la circulación ciclónica alrededor de Domo. (FIGURA # 20). En el trabajo de Wyrski (1964), se reporta un valor de $16.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$ para el transporte debido al giro de la Contracorriente, que coincide con el encontrado en el presente trabajo ($15 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$)

En el transecto III la gráfica de transporte neto presenta dos máximos, uno en dirección Noroeste y otro en dirección Sureste. El máximo en dirección Noroeste se localiza a unos $334 \times 10^3 \text{ m}$ de la costa sobre la línea del transecto con un valor de $47 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$; el máximo en dirección Sureste se encuentra a unos $167 \times 10^3 \text{ m}$ de la costa con un valor de $33 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s.}$ El transporte en dirección Noroeste se podría deber a la Corriente Costera de Costa Rica y a la Corriente Norecuatorial, mientras que el transporte al Sureste reflejaría a una corriente costera enfrente de las costas de El Salvador y

Nicaragua (FIGURA # 21).

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones principales que podemos mencionar a partir de los diferentes resultados interpretados en la sección anterior son. En cuanto a la circulación geostrofica en la zona se obtuvo un patrón similar al descrito por Wyrski (1964), en su trabajo sobre el Domo de Costa Rica, presentándose el giro de la Contracorriente Ecuatorial al Este del centro de baja presión, donde fluye paralela a la costa la Corriente Costera de Costa Rica. Entre los 10° y los 13° N la circulación que se presentó fue predominantemente hacia el Oeste a excepción de una corriente subsuperficial en dirección Sureste que fluía a unos 167×10^3 m de la costa enfrente del Golfo de Fonseca. El cierre de la circulación ciclónica se localizó al Oeste del levantamiento de la termoclina en $88^{\circ} 30' W$.

Para complementar el cuadro descriptivo de la circulación en la zona, anotaremos las características de cada una de las corrientes. La Contracorriente Ecuatorial presentó una velocidad de 0.3 m/s. con un transporte de 16×10^6 m³/s. en 5° de Latitud Norte y una velocidad de 0.4 m/s. con un transporte de 23×10^6 m³/s. en los 8° N. El giro de la Contracorriente hacia el Norte se caracterizó por una velocidad de 0.5 m/s. y un transporte de 15×10^6 m³/s. en los 86° W y una velocidad de 0.4 m/s. con un transporte de 24×10^6 m³/s.

en 88° W. La corriente costera de Costa Rica se caracterizó por una velocidad de 0.2 m/s. enfrente de la Península de Nicoya, con una densidad de 20.0 Kg/m³ en un área donde la temperatura en superficie fue en promedio mayor a los 28° C. Al Norte del levantamiento (entre el centro del Domo y las costas de Centroamérica) el flujo que se encontró se caracterizó por una velocidad de 0.6 m/s. con un transporte neto en toda la columna de agua de 19×10^6 m³/s., formado por la Norcorriente Ecuatorial, la contribución del giro de la Contracorriente y la corriente costera de Costa Rica. El cierre de la circulación ciclónica se caracterizó por una velocidad de 0.3 m/s. con un transporte de 11×10^6 m³/s. Para finalizar podemos decir que la temperatura y densidad encontrada en el centro del Domo caracterizan el surgimiento de agua de capas a mayor profundidad.

6. RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista físico, es posible adentrarse en el estudio de otras características presentes en la zona, así como resolver las posibles fallas presentes en este trabajo. Podemos enumerar: 1) La determinación de la capa de no movimiento utilizando el método que se considere más idóneo, partiendo de los ya existentes, de acuerdo a las características de la zona. 2) Hacer un estudio del transporte de masa, tanto en la vertical como horizontalmente, que ayudaría a explicar la mezcla vertical de la cual hay evidencias, como a complementar una descripción del sistema de corrientes presente en la región.

Desde otros puntos de vista, trabajos sobre la producción primaria, el flujo energético en la cadena trófica, la composición química del agua tanto de sustancias orgánicas e inorgánicas en suspensión o disueltas, así como otros, permitirían tener un cuadro descriptivo de la zona bastante completo.

7. R E F E R E N C I A S .

- Austin, T. S. , 1960.
 Oceanography of the East central Equatorial Pacific
 as observed during the expedition Eostropic . U.S.
 Fish Bull. Vol 60, 257-282 p.
- Cromwell, T. , 1958.
 Topografía de la Termoclina, Corrientes Horizontales
 y "Ondulación" en el Pacífico Tropical Oriental.
 Comisión Interamericana del Atlántico Tropical. Boletín,
 Vol.2, # 3, 135-143 p. (Inglés), 153-163 p.
 (Español)
- Cromwell, T. y E. Bennett, 1959
 Surface Drift Charts for the Eastern Tropical Pacific
 Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull. (in
 English and Spanish). Vol. 2, # 5, 317-237 p.
- Fomin, L. M. , 1964.
 The Dynamic Method in Oceanography. Elsevier,
 Amsterdam, Vol. 2, 212 p.
- Jerlov, N. G. , 1953.
 Studies of the Equatorial Currents in the Pacific.
 Tellus Vol. 5, # 2, 345-250 p.
- Knauss, J. A. , 1963.
 Equatorial Current Systems. In: The Sea: Ideas and
 Observations on Progress in the Study of the Seas.
 Interscience, New York, Vol. 2, 538-555 p.
- Meehl, G. A. , 1982.
 Characteristics of Surface Current Flow Inferred from
 a Global Ocean Current Data Set. Jour. Phys.
 Oceanogr. Vol. 12, # 6, 538-555 p.

- Neumann, G. , 1968.
Ocean Currents. Elsevier, Amsterdam, Vol. 4, 253 p.
- Pond, S. y G. L. Pickard, 1978.
Introductory Dynamic Oceanography. Pergamon, 241 p.
- Reid, R. , 1948.
The Equatorial Current of the Eastern Pacific as
Maintained by the Stress of the Wind. Jour. Mar.
Research. Vol. 7, # 2, 74-99 p.
- Sverdrup, H. U, M. W. Johnson y M. W. Fleming, 1942.
The Oceans, Their Physics, Chemistry and General
Biology. Prentice Hall inc, New York, 1087 p.
- Wooster, W. S. y T. Cromwell, 1958.
An Oceanographic Description of the Eastern Tropical
Ocean. Bull, SIO, Vol. 7, # 2, 169-382 p.
- Wyrtki, K. , 1964.
Upwelling in the Costa Rica Dome. Fishery Bull.
Vol. 62, # 3, 355-372 p.
- Yoshida, K. , 1967.
Circulation in the Eastern Tropical Oceans with
Special References to Upwelling and Under Currents.
Jap.Jour. Geophys. Vol. 4, # 2, 1-75 p.

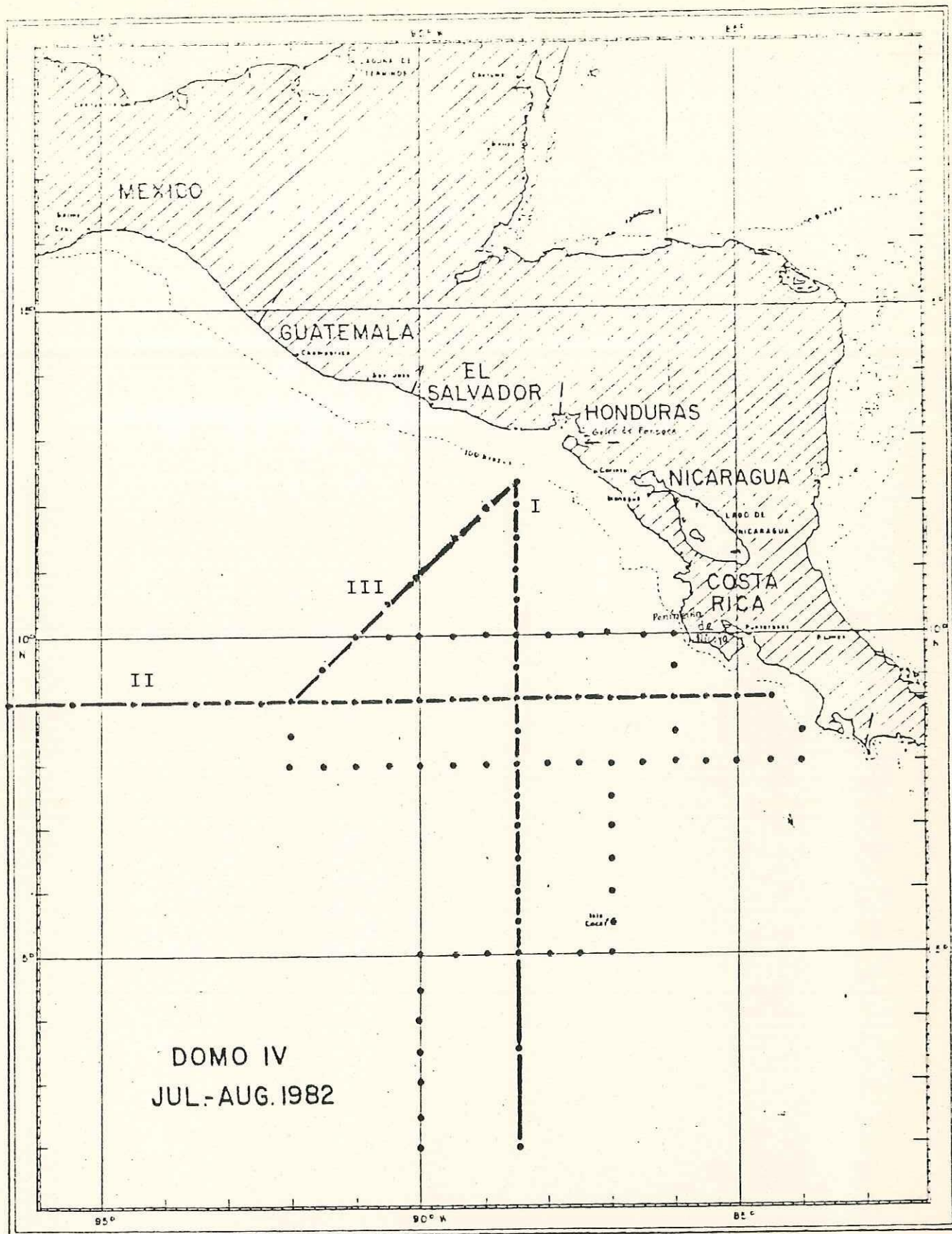


FIGURA # 1. Red de estaciones de la Campaña DOMO-IV, indicándose los dos transectos principales (I, II), y el transecto perpendicular a la costa (III).

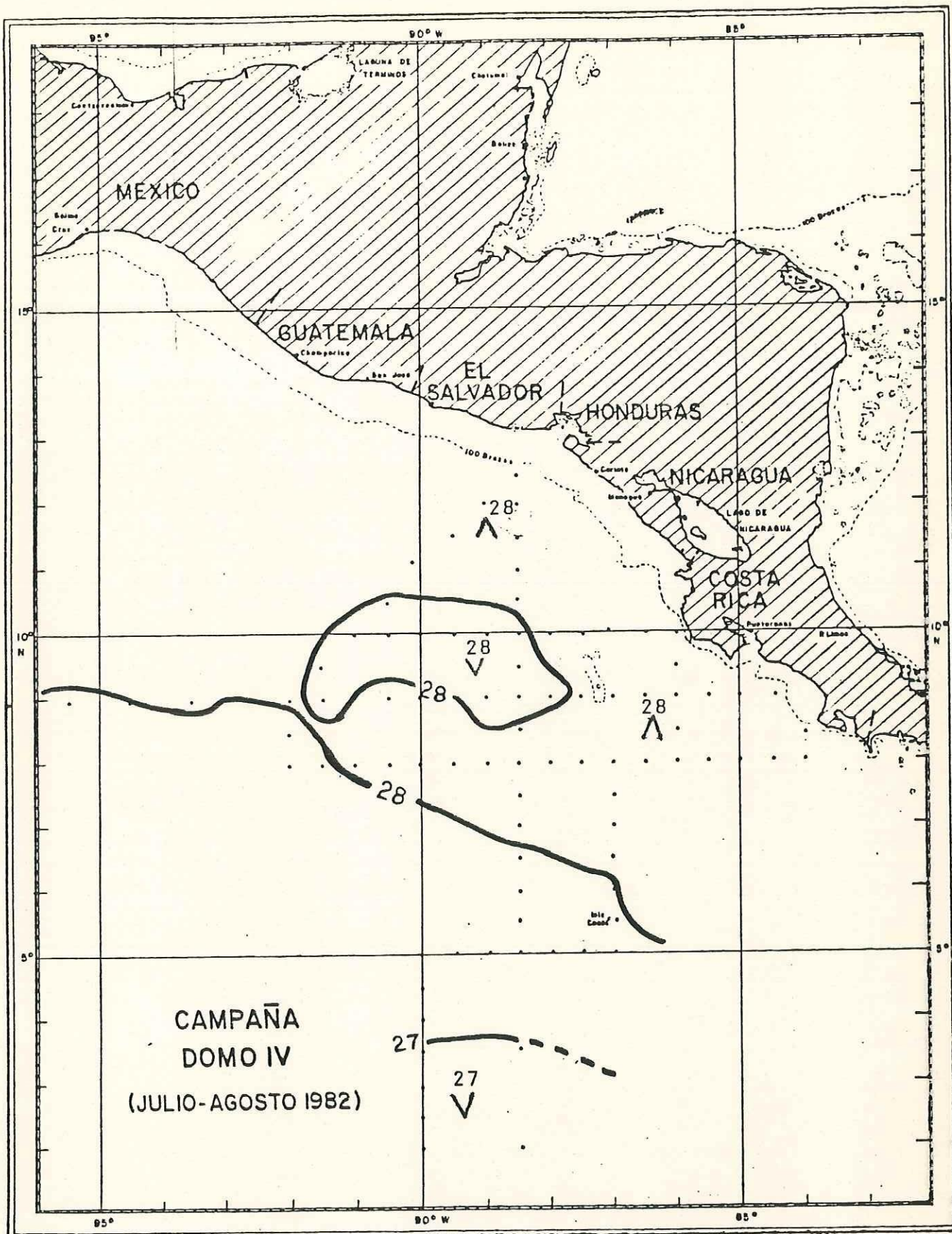


FIGURA # 2. Distribución horizontal de la temperatura.
(Unidades: °C.)

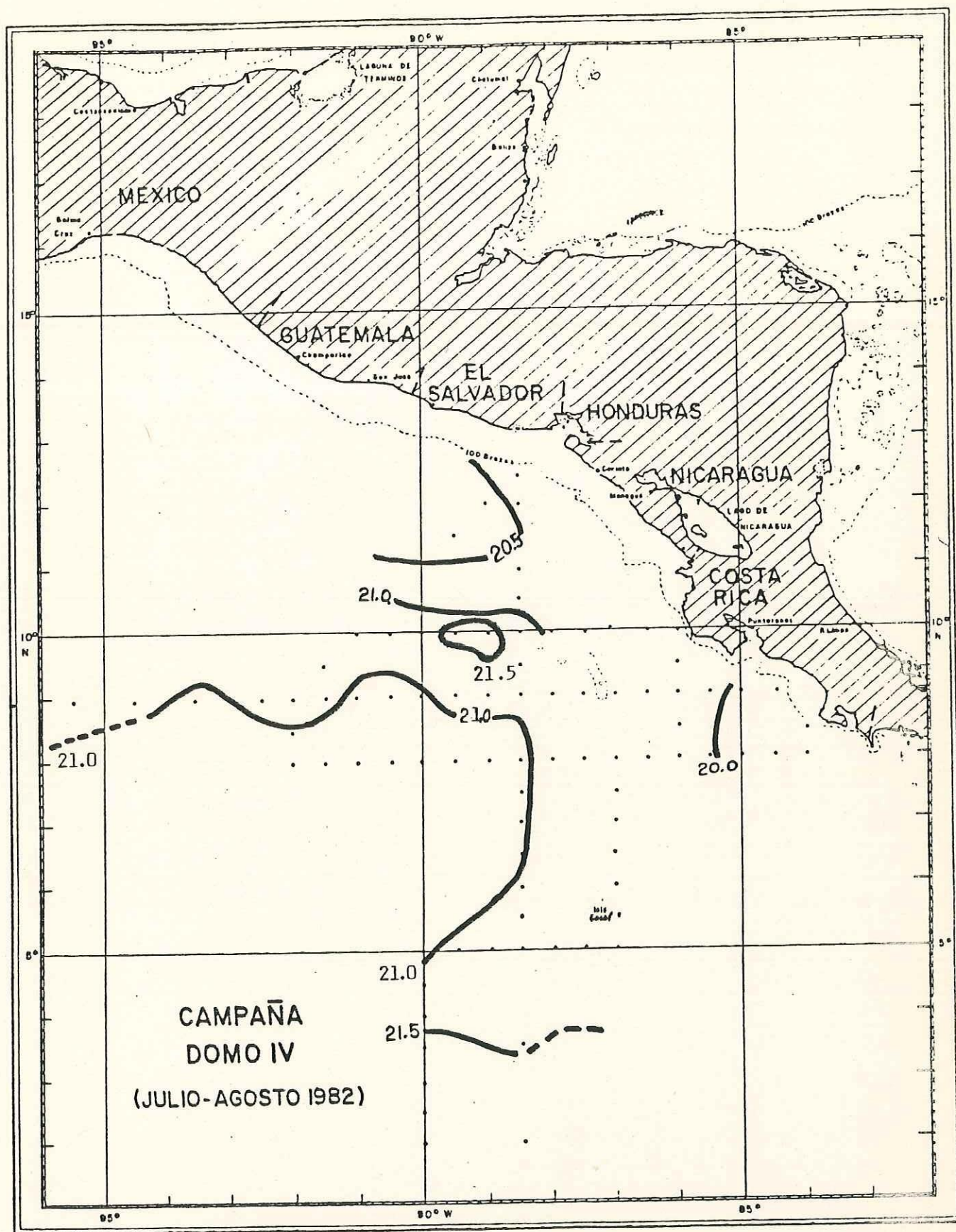


FIGURA # 3. Distribución horizontal de la densidad, re
presentada por Sigma-t.
(Unidades: Kg/m^3).

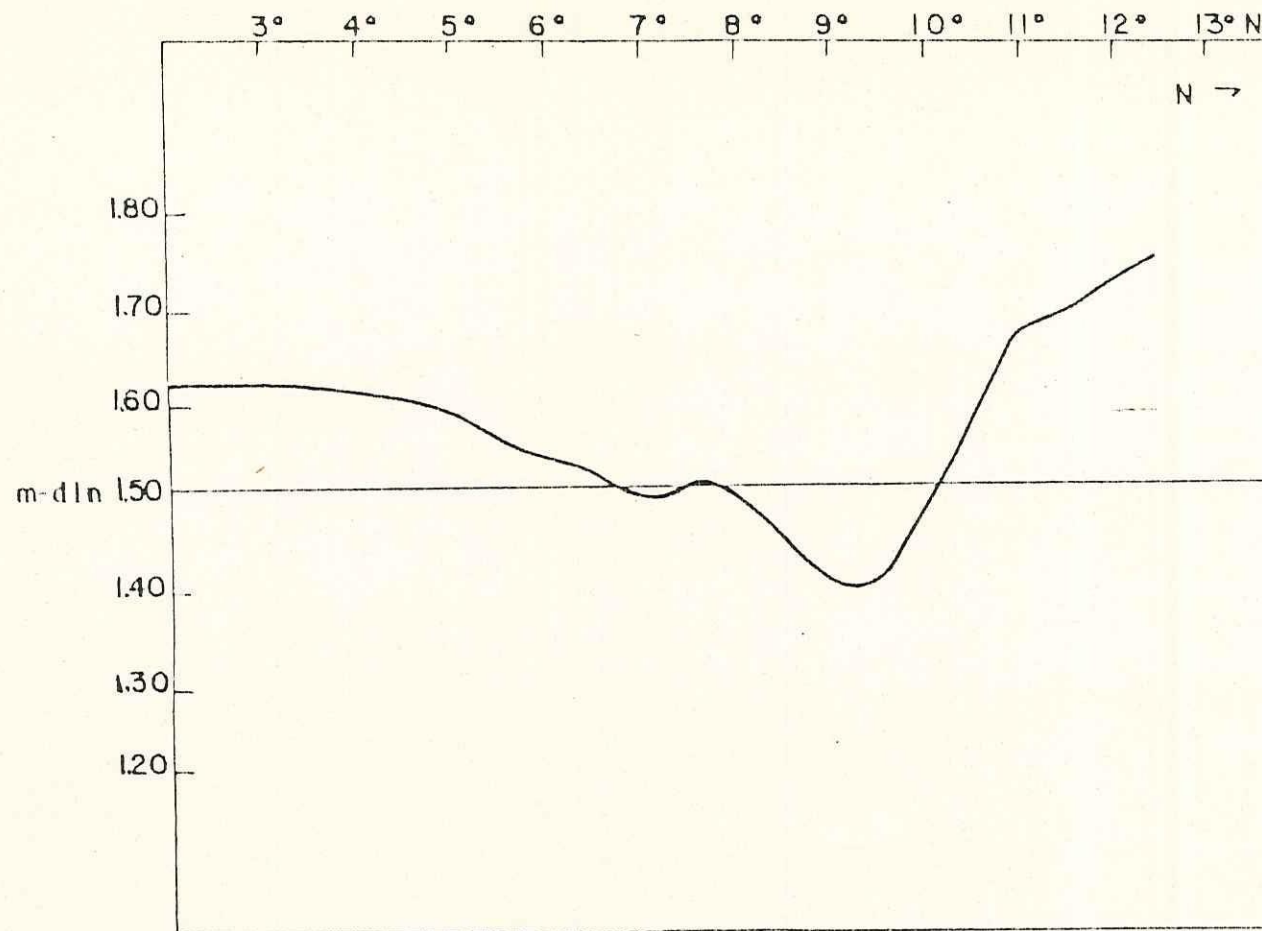


FIGURA # 4. Perfil de la superficie del -
(10 db/1000 db), en el transecto I.
(Unidades: m-din).

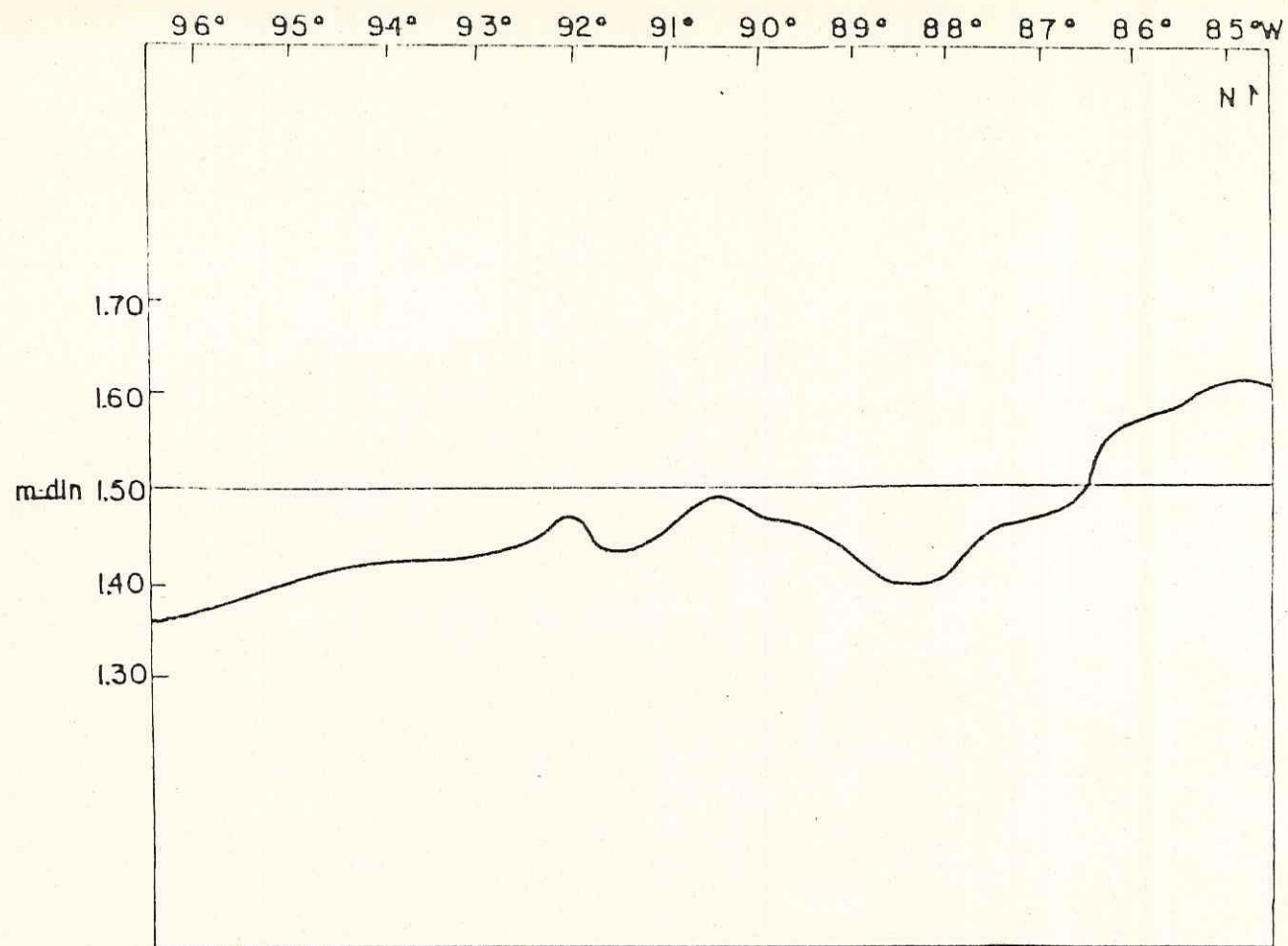


FIGURA # 5. Perfil de la superficie del mar (10 db/1000 db), en el transecto II.
(Unidades: m-din).

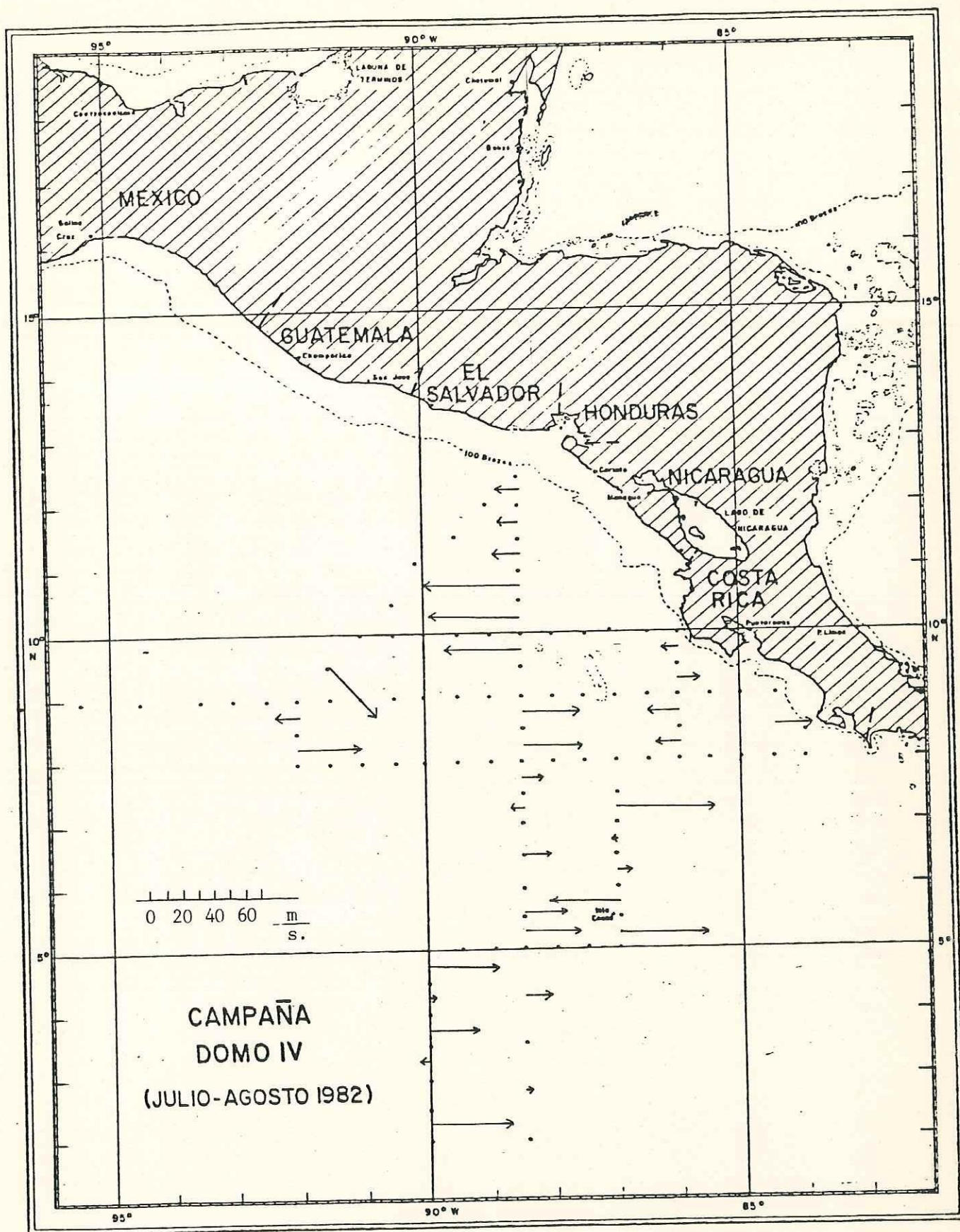


FIGURA # 6. Representación de la corriente geostrofica en superficie con vectores Oeste-Este (Unidades: m/s.)

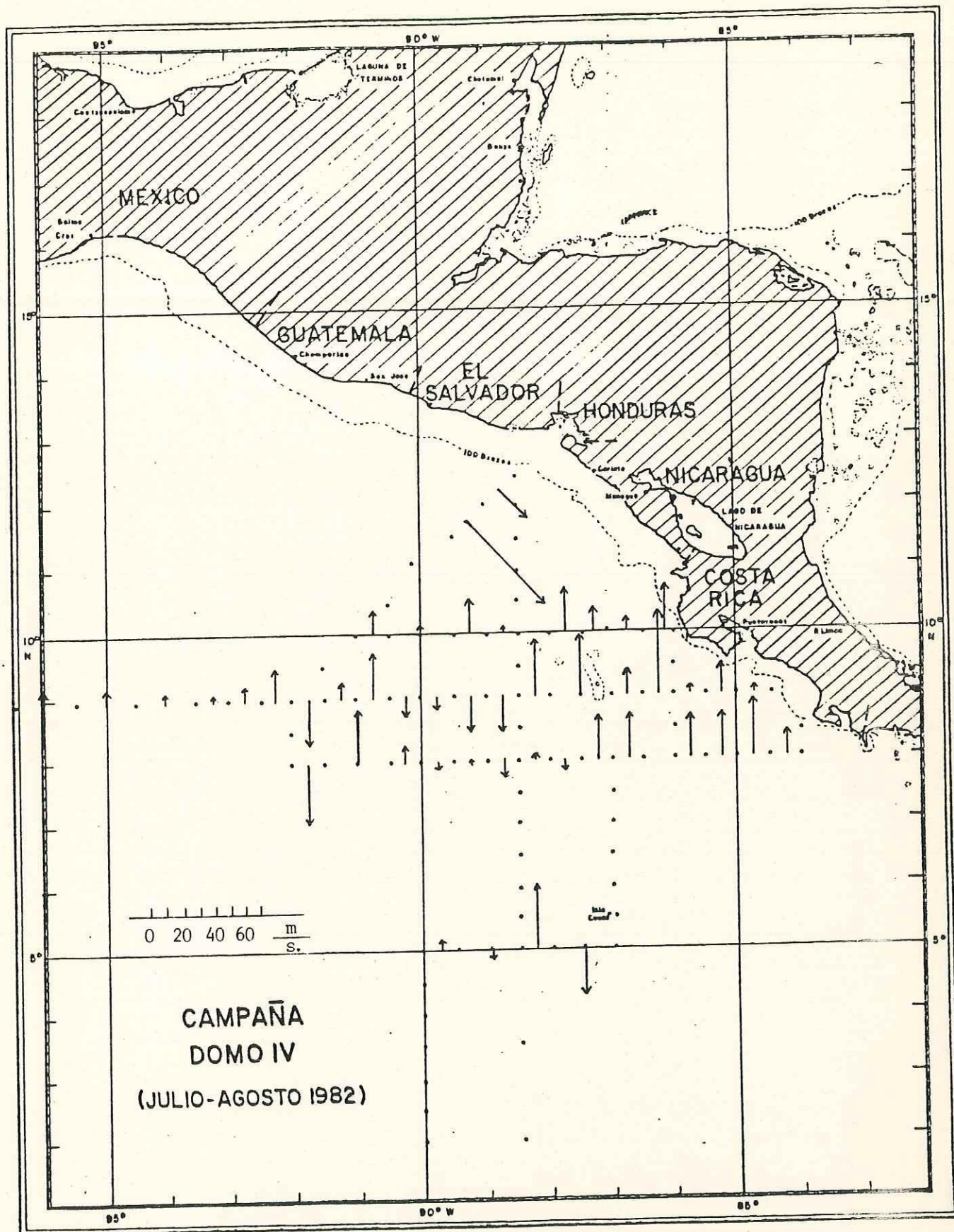


FIGURA # 7. Representación de la corriente geostrofi-
ca en superficie con vectores Sur-Norte.
(Unidades: m/s.)

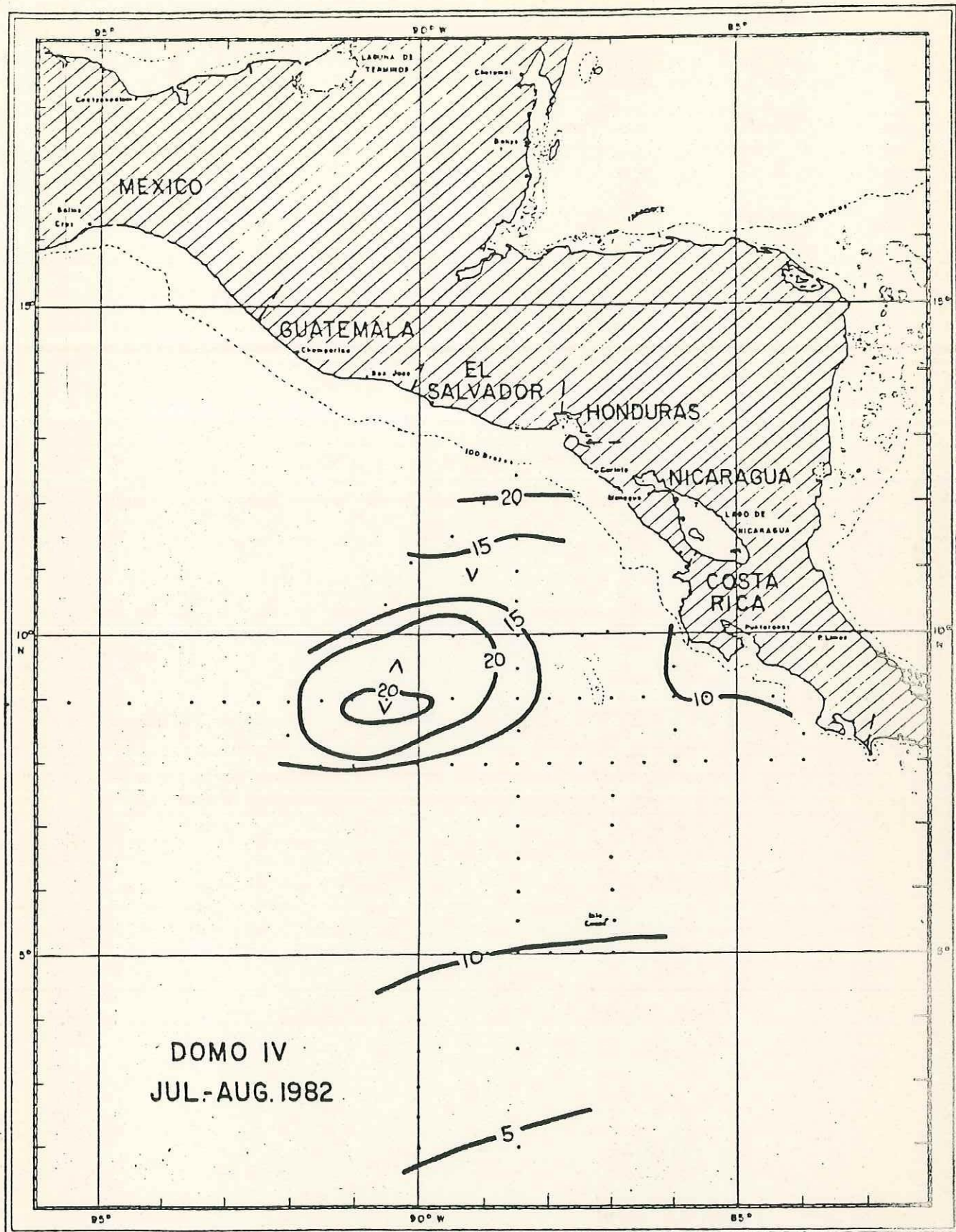


FIGURA # 8. Topografía de la isopícnica de 24.5 Kg/m^3 representada por Sigma-theta (Unidades: m).

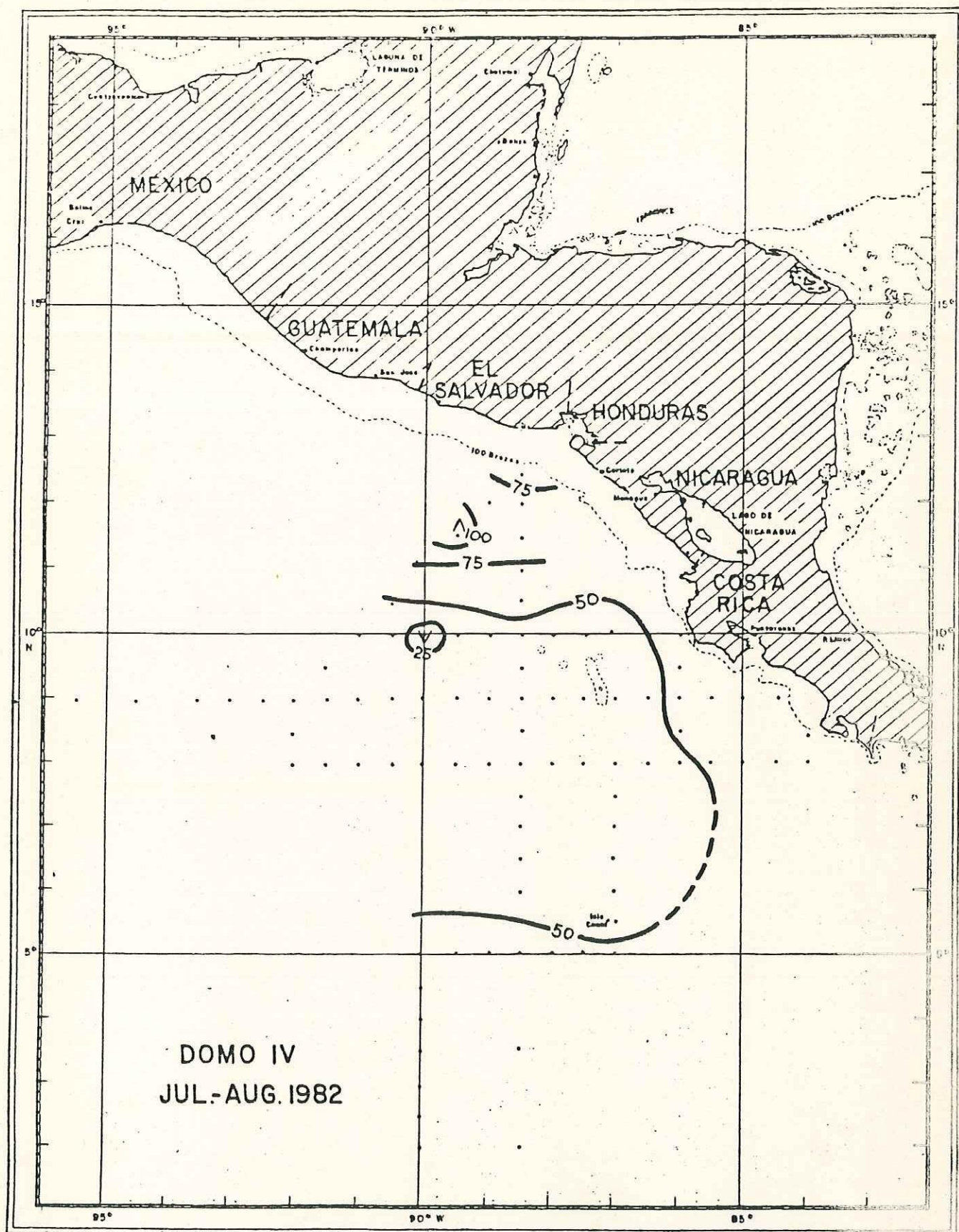


FIGURA # 9. Topografía de la isopícnica de 26.5 Kg/m^3 representada por Sigma-theta (Unidades: m).

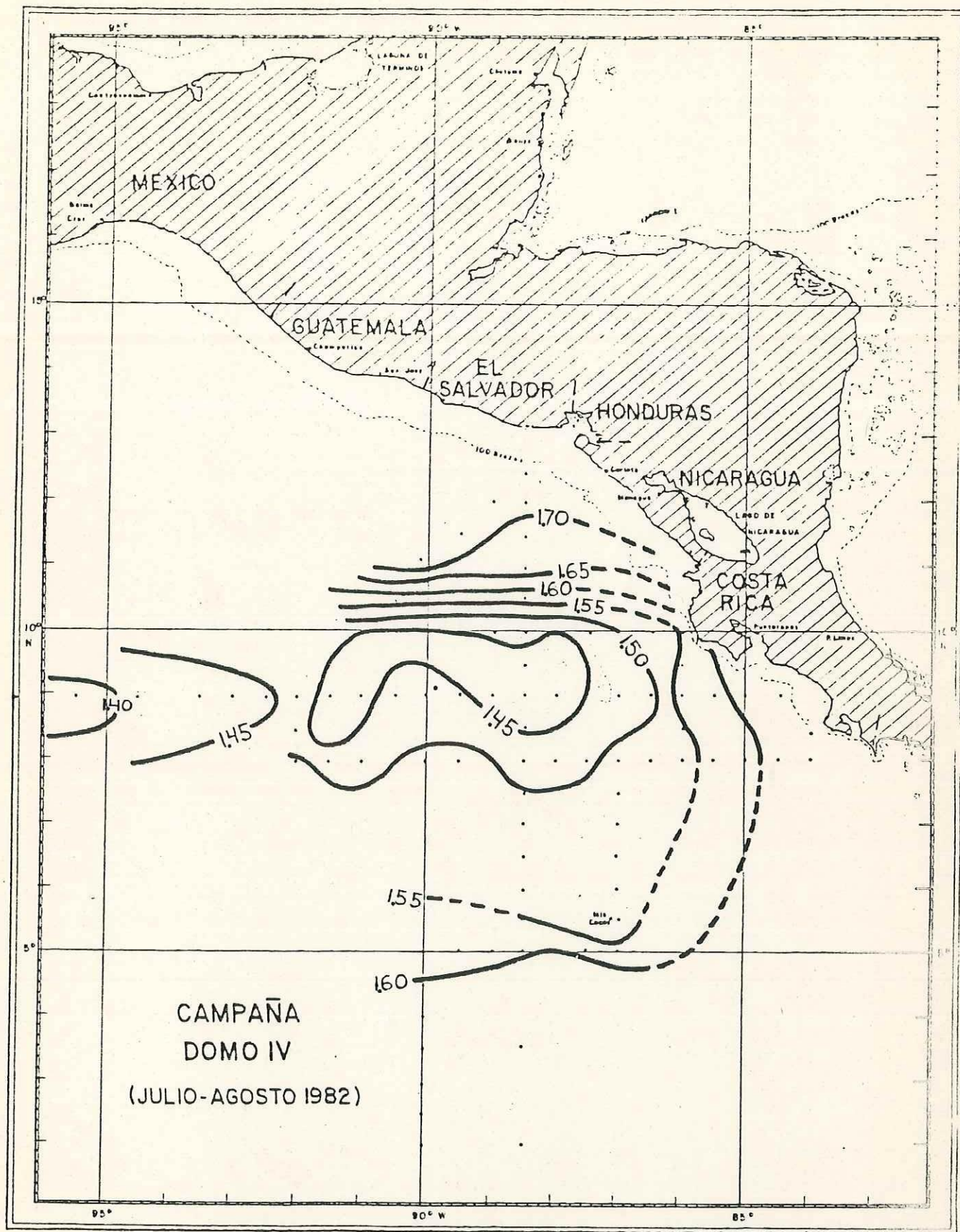


FIGURA # 10. Topografía dinámica de 10 db. relativa a 1000 db. (Unidades: m-din).

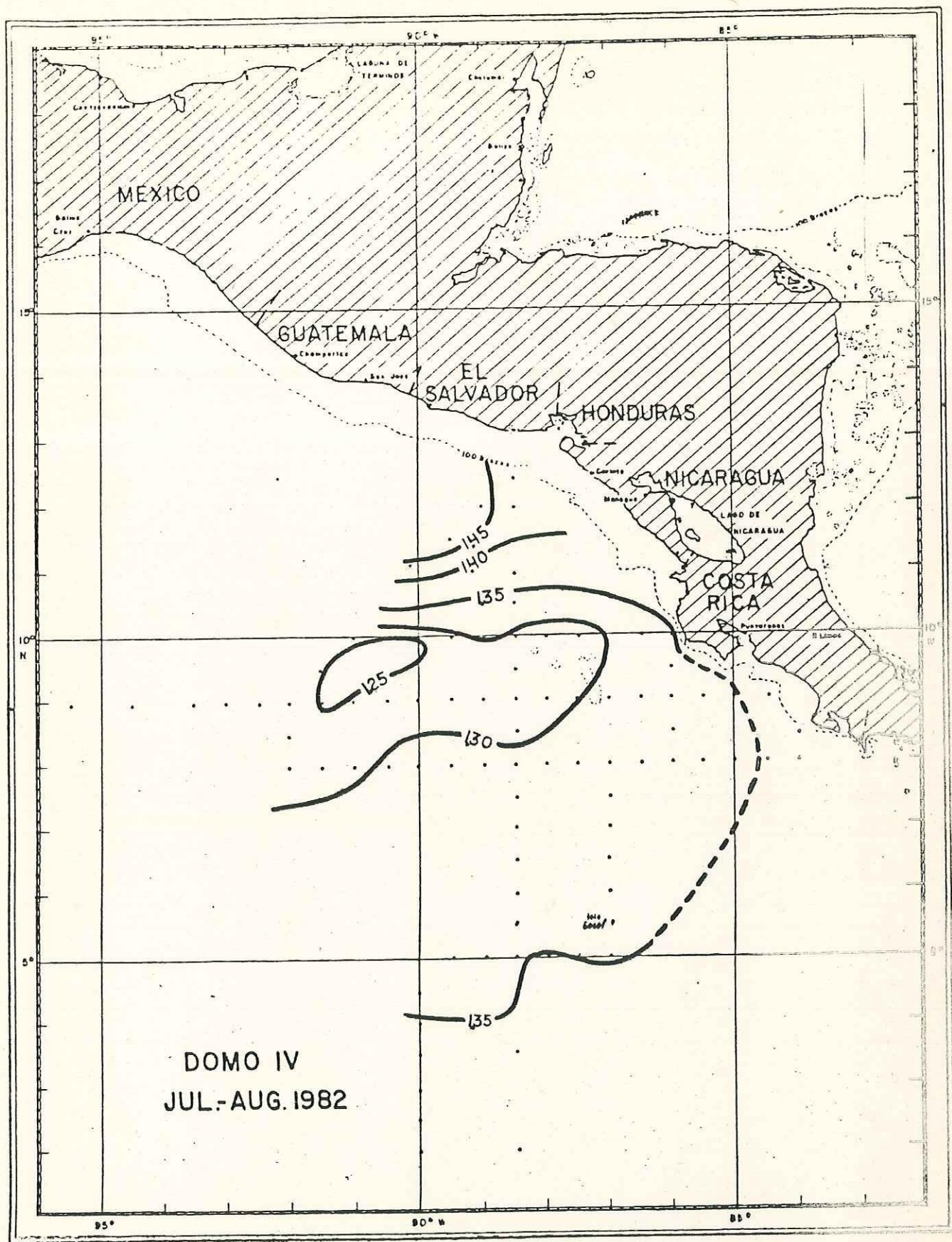


FIGURA # 11. Topografía dinámica de 50 db, relativa a - 1000 db.
(Unidades: m-din).

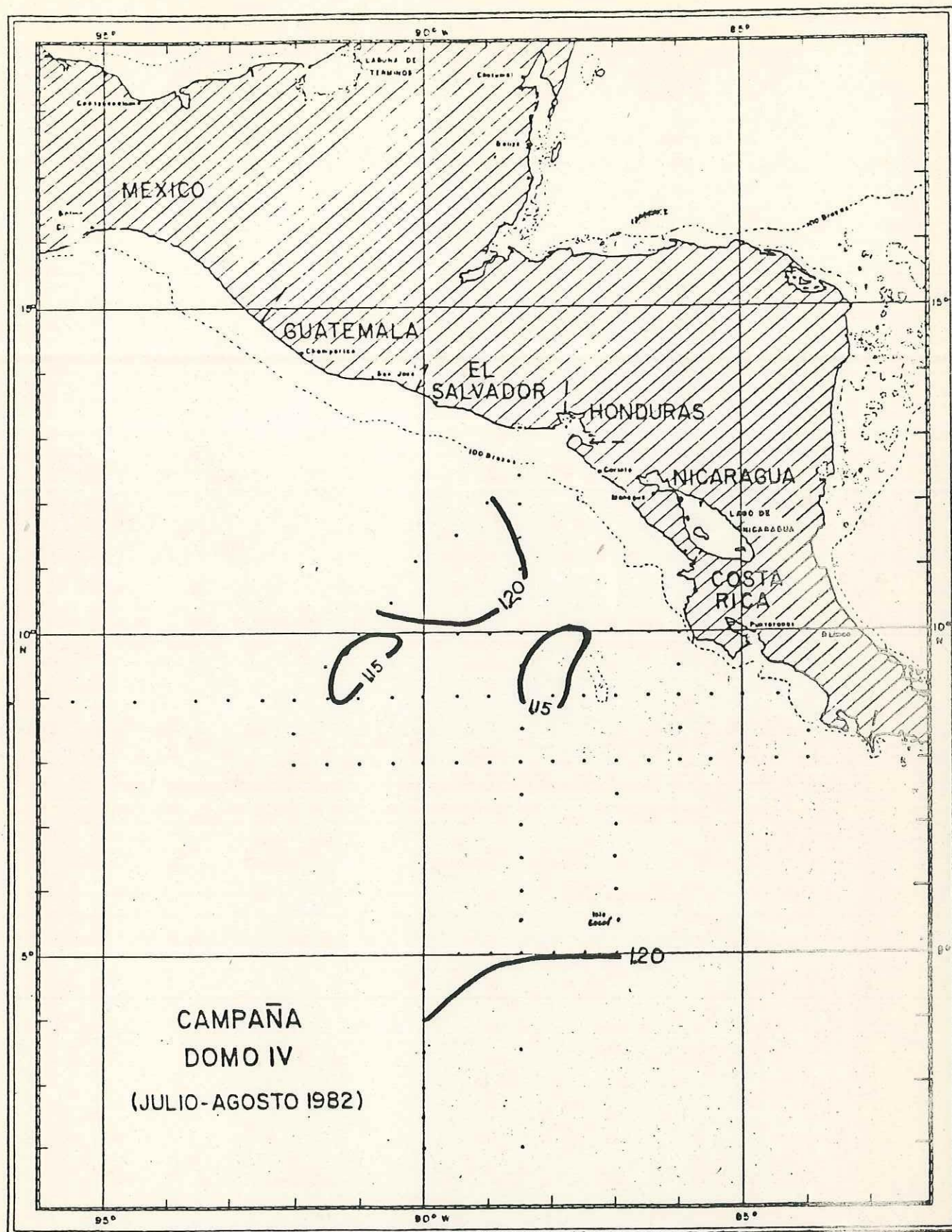


FIGURA # 12. Topografía dinámica de 100 db, relativa a -
1000 db.
(Unidades: m-din).

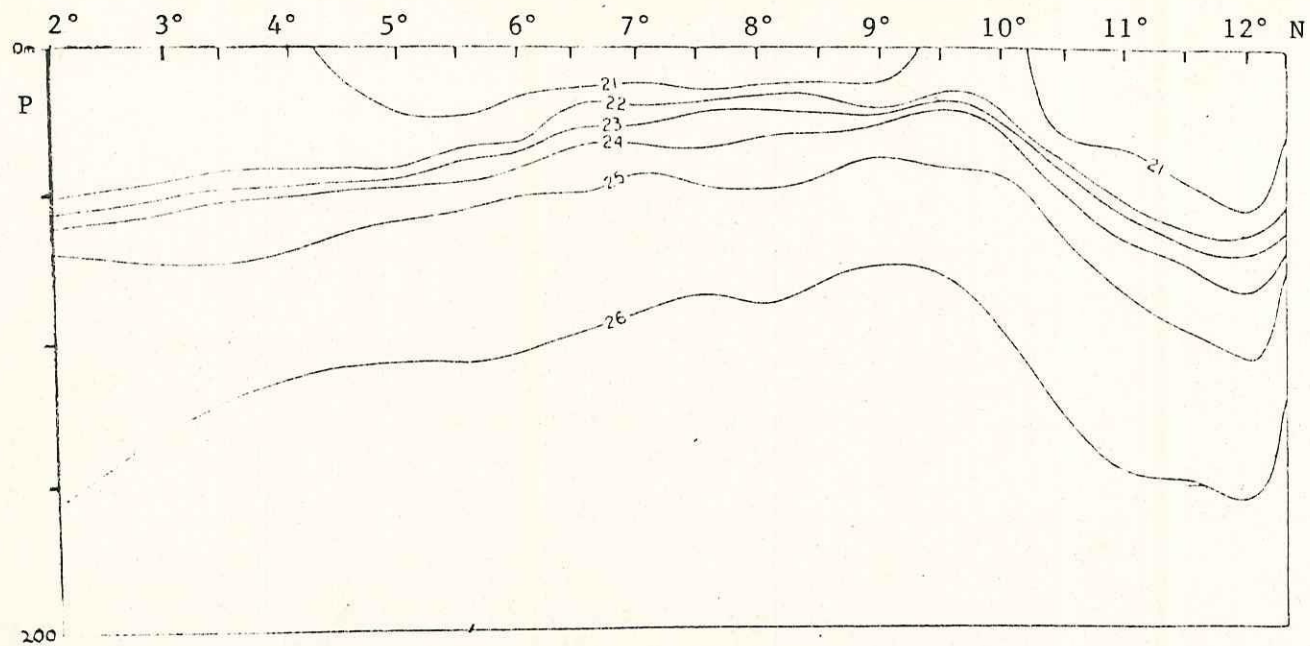


FIGURA # 13. Corte vertical del campo de densidad, representada por la Sigma Potencial en el transecto I. (Unidades: Kg/m^3).

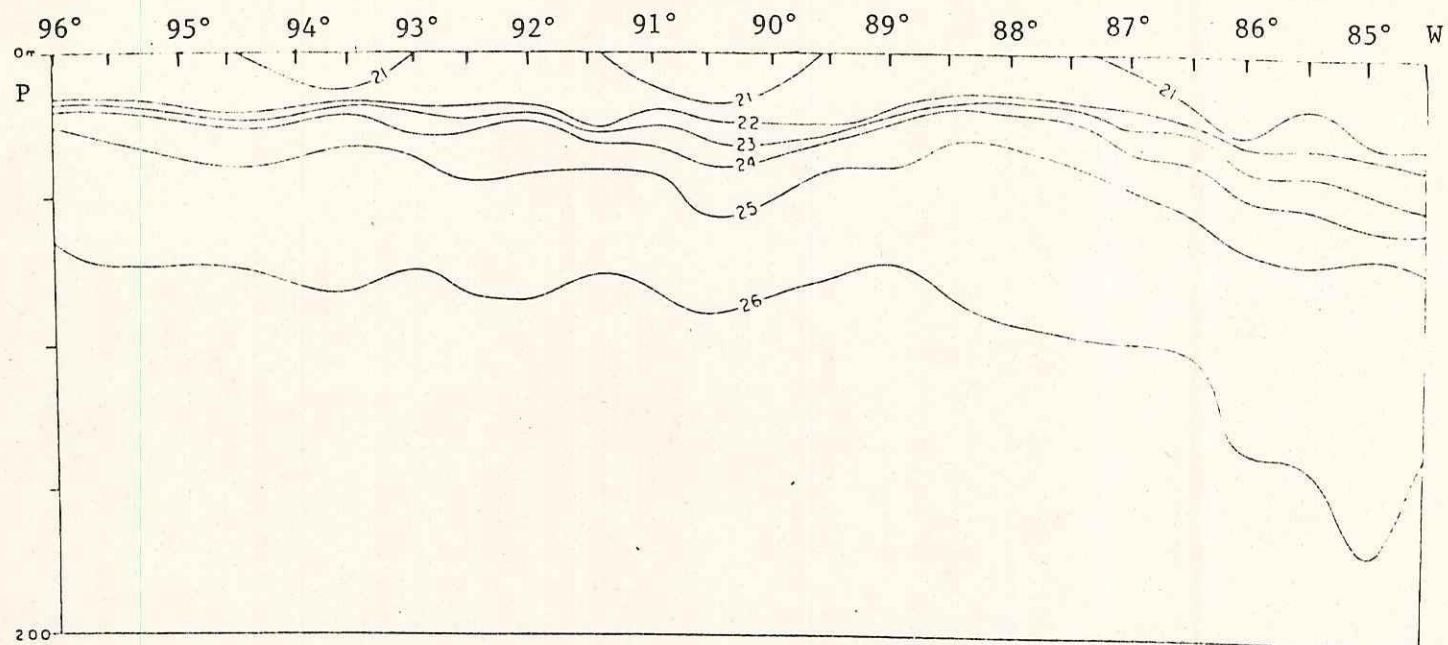


Figura # 14. Corte vertical del campo de densidad, representada por la Sigma Potencial, en el transecto II. (Unidades: Kg/m^3).

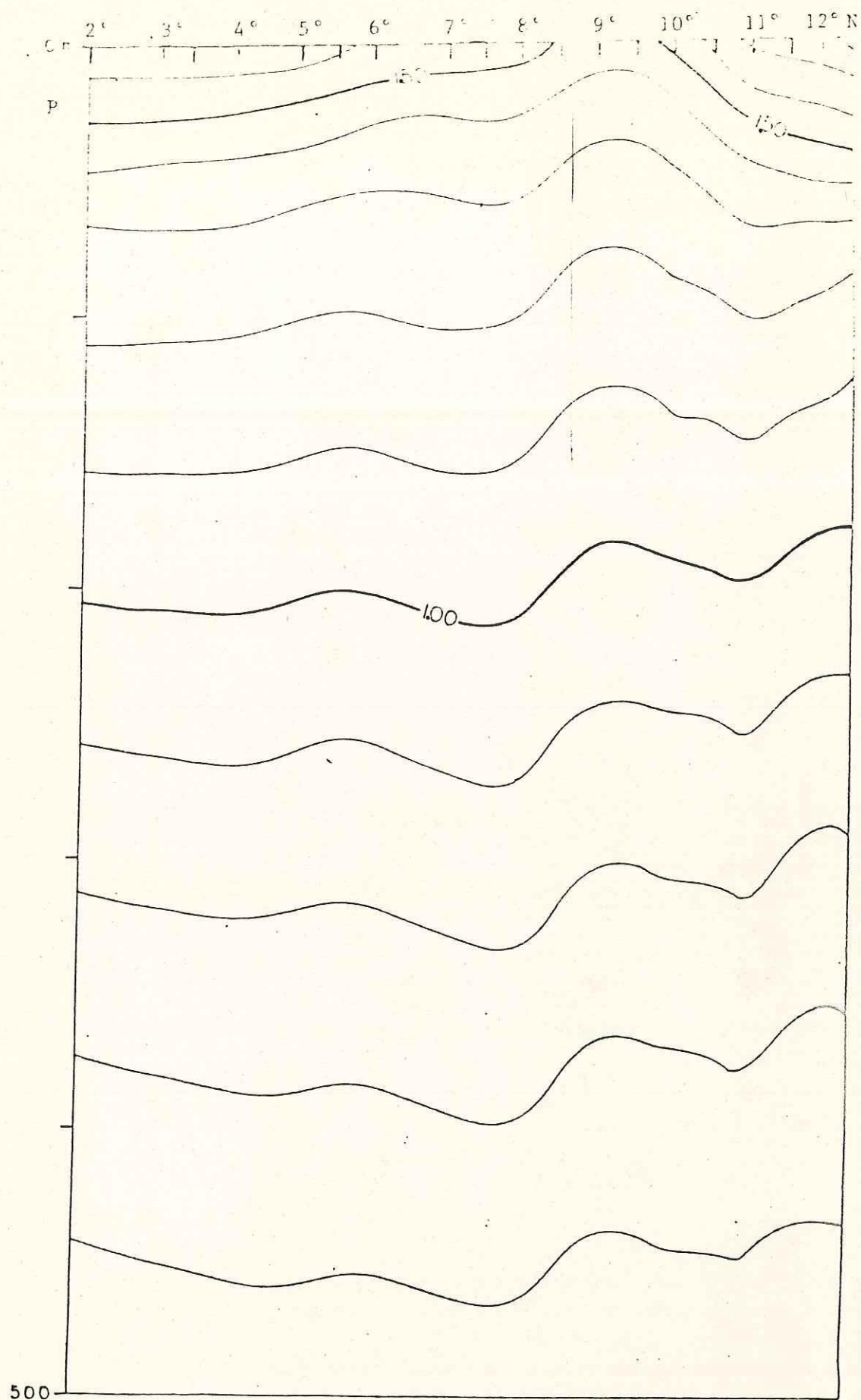


FIGURA # 15. Corte vertical del campo de anomalía de altura dinámica en el transecto I. (Unidades: m-din).

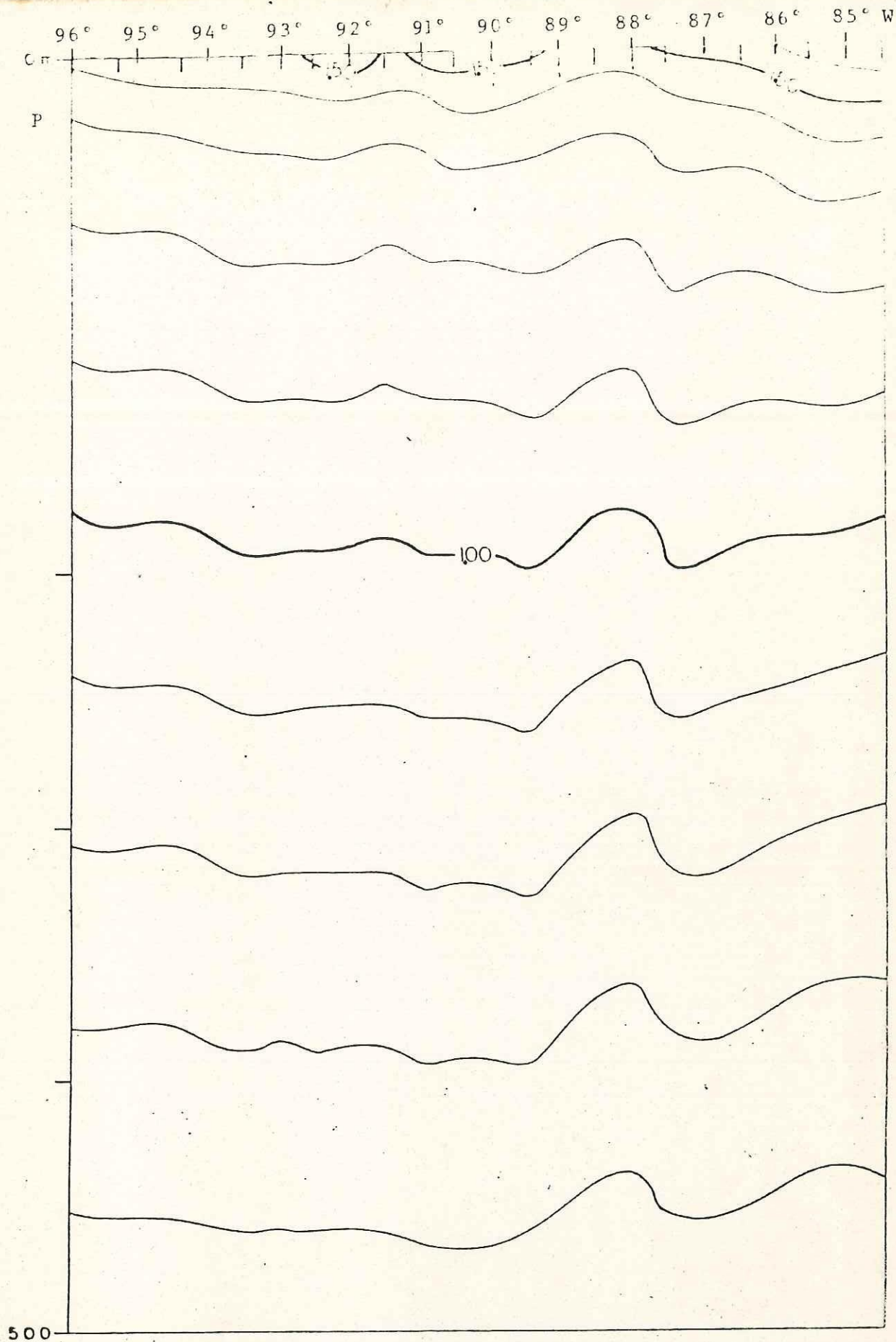


FIGURA # 16. Corte vertical del campo de anomalía de altura dinámica en el transecto II.
(Unidades: m-din).

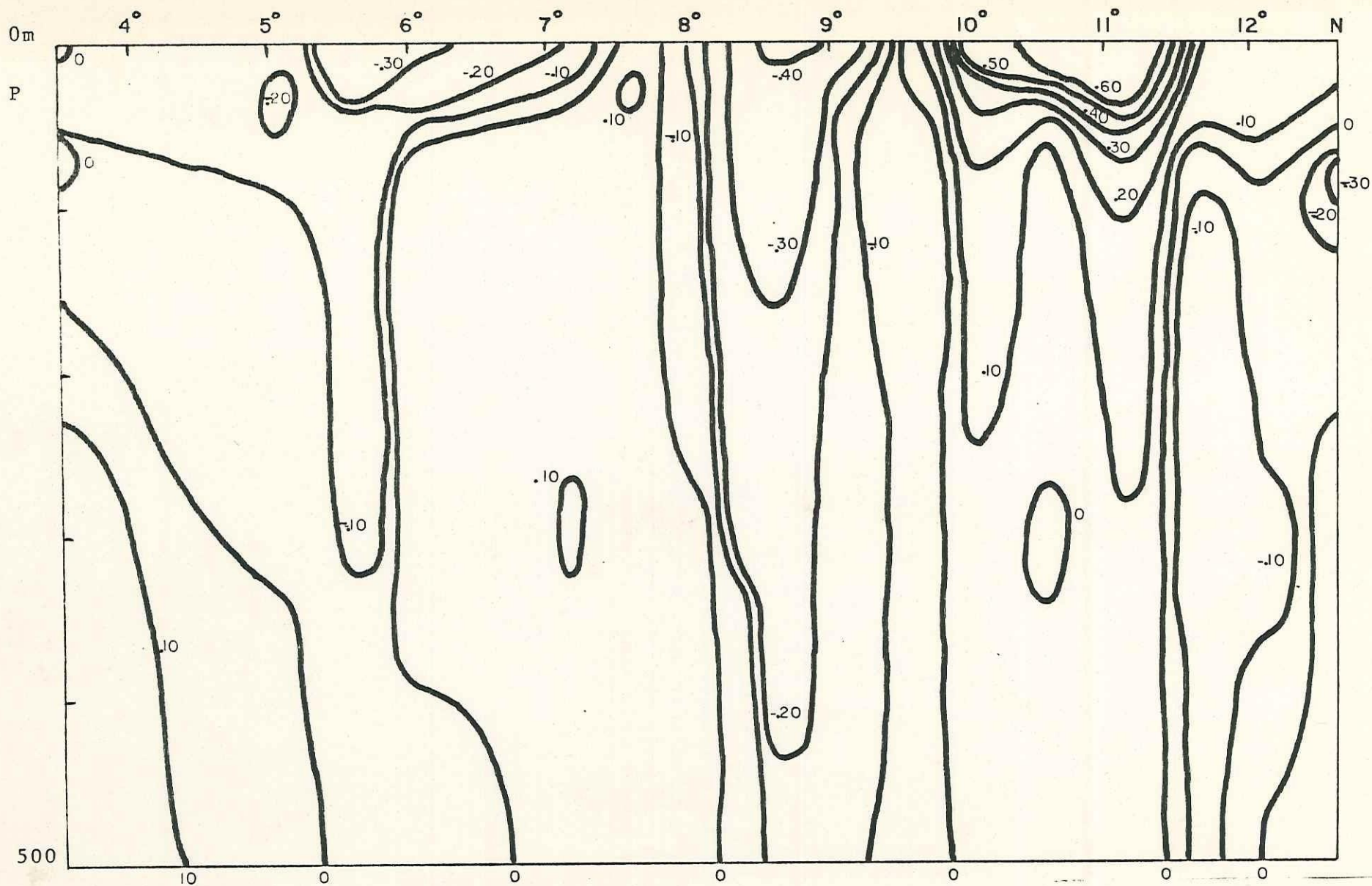


FIGURA # 17. Corte vertical del campo de velocidad geostrófica relativa a 1000 db. en el transecto I. (Unidades: m/s.). El signo (-) indica corrientes hacia el Este.

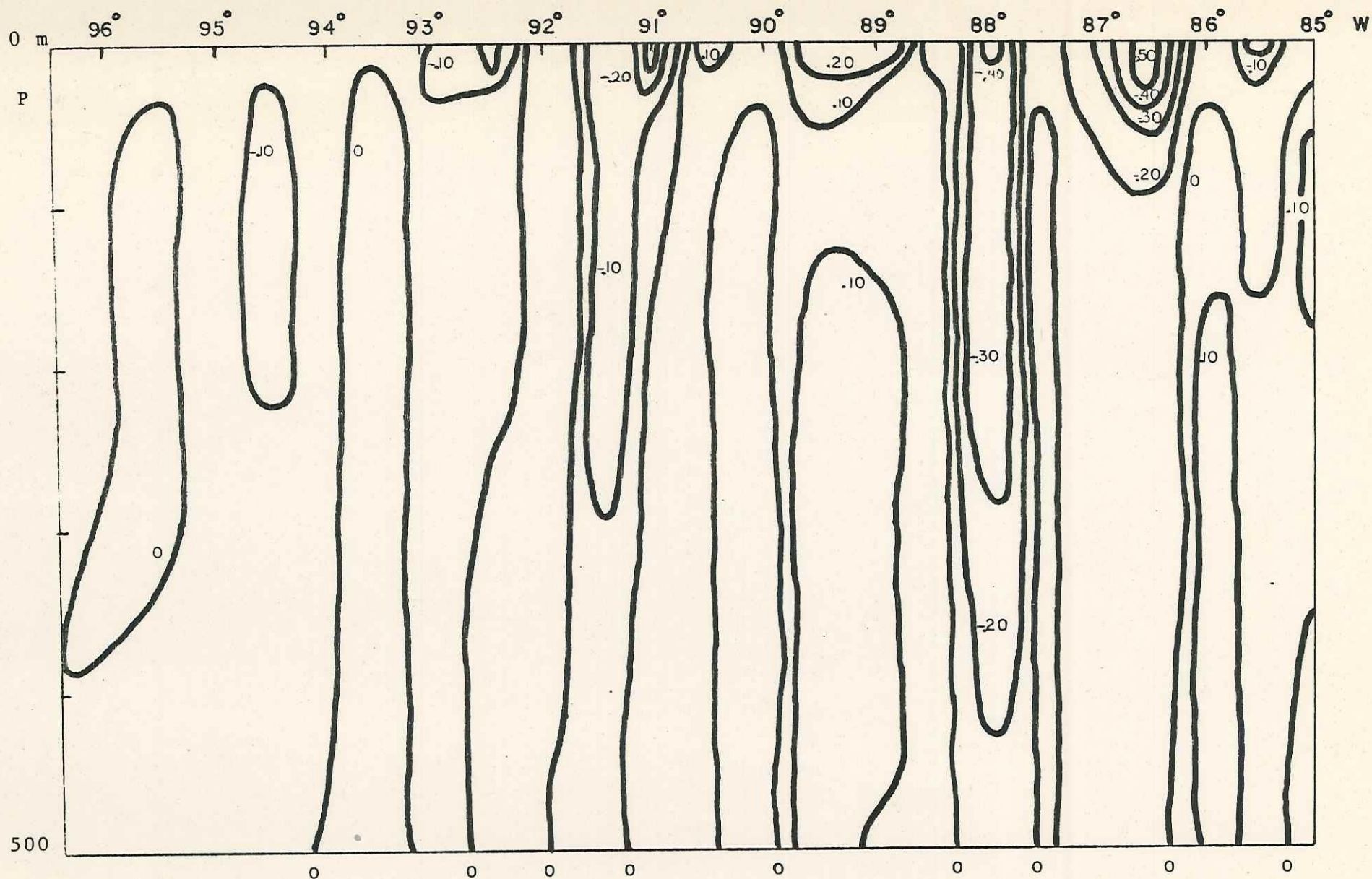


FIGURA # 18. Corte vertical del campo de velocidad geostrofica relativa a 1000 db. en el transecto II. (Unidades: m/s.). El signo (-) indica corrientes hacia el Norte.

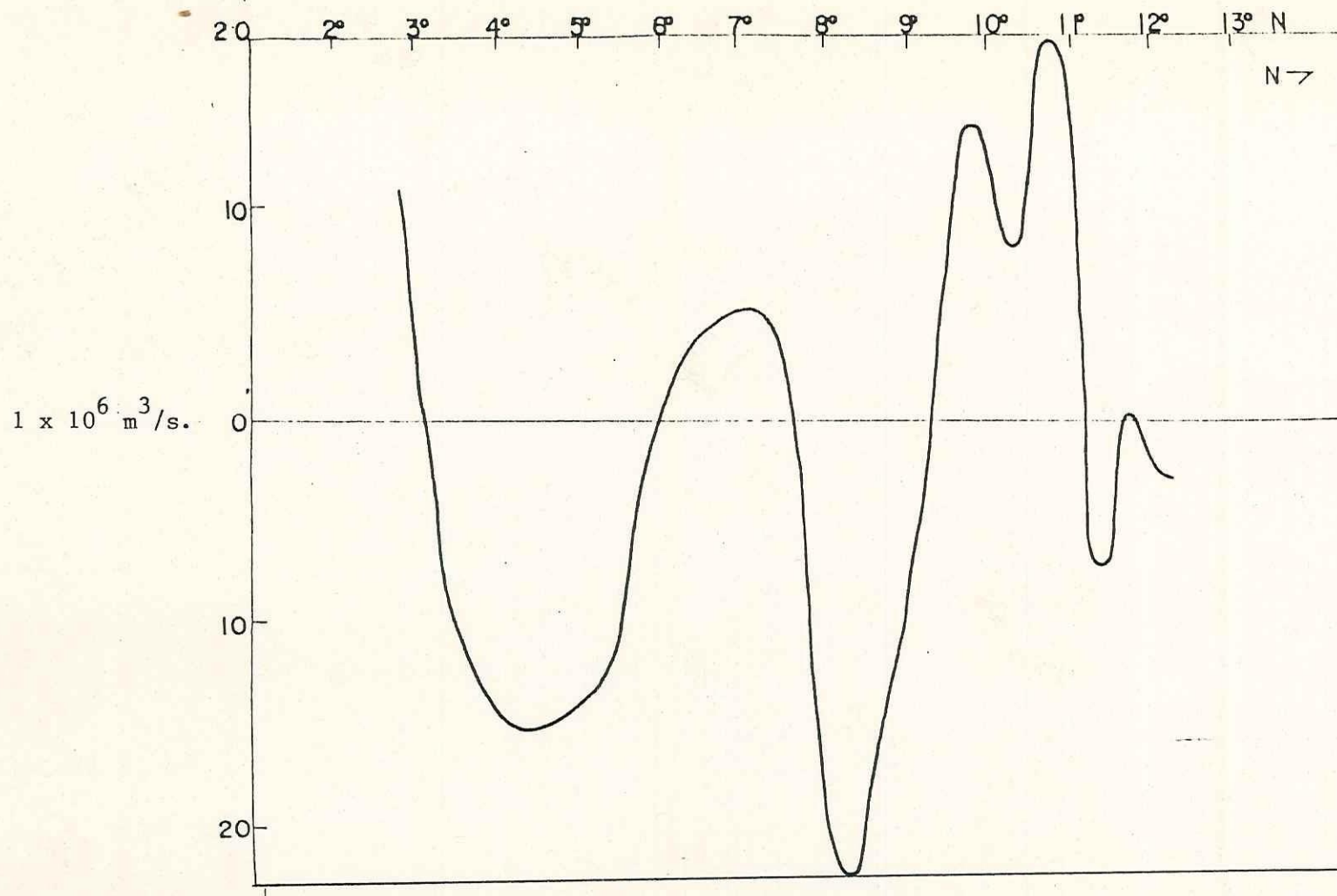


FIGURA # 19. Gráfica del transporte neto a través del transecto I, en toda la columna de agua relativo a 1000 db. El transporte total en el transecto fue de $18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. en dirección Este. (Unidades: Por $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$.)

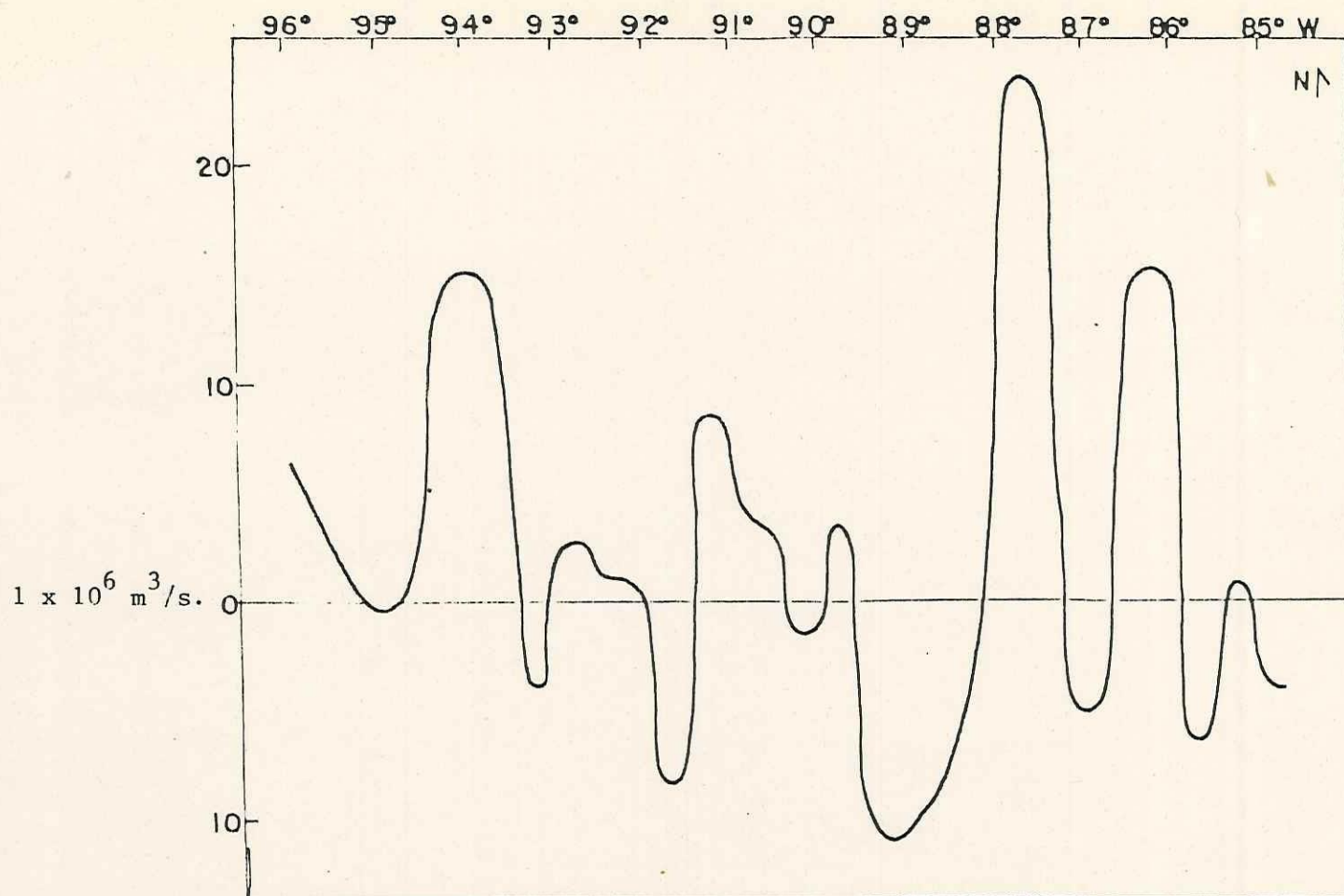


FIGURA # 20. Gráfica del transporte neto a través del transecto II, en toda la columna de agua relativo a 1000 db. El transporte total en el transecto fue de $30.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. en dirección Norte. (Unidades: Por $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$.)

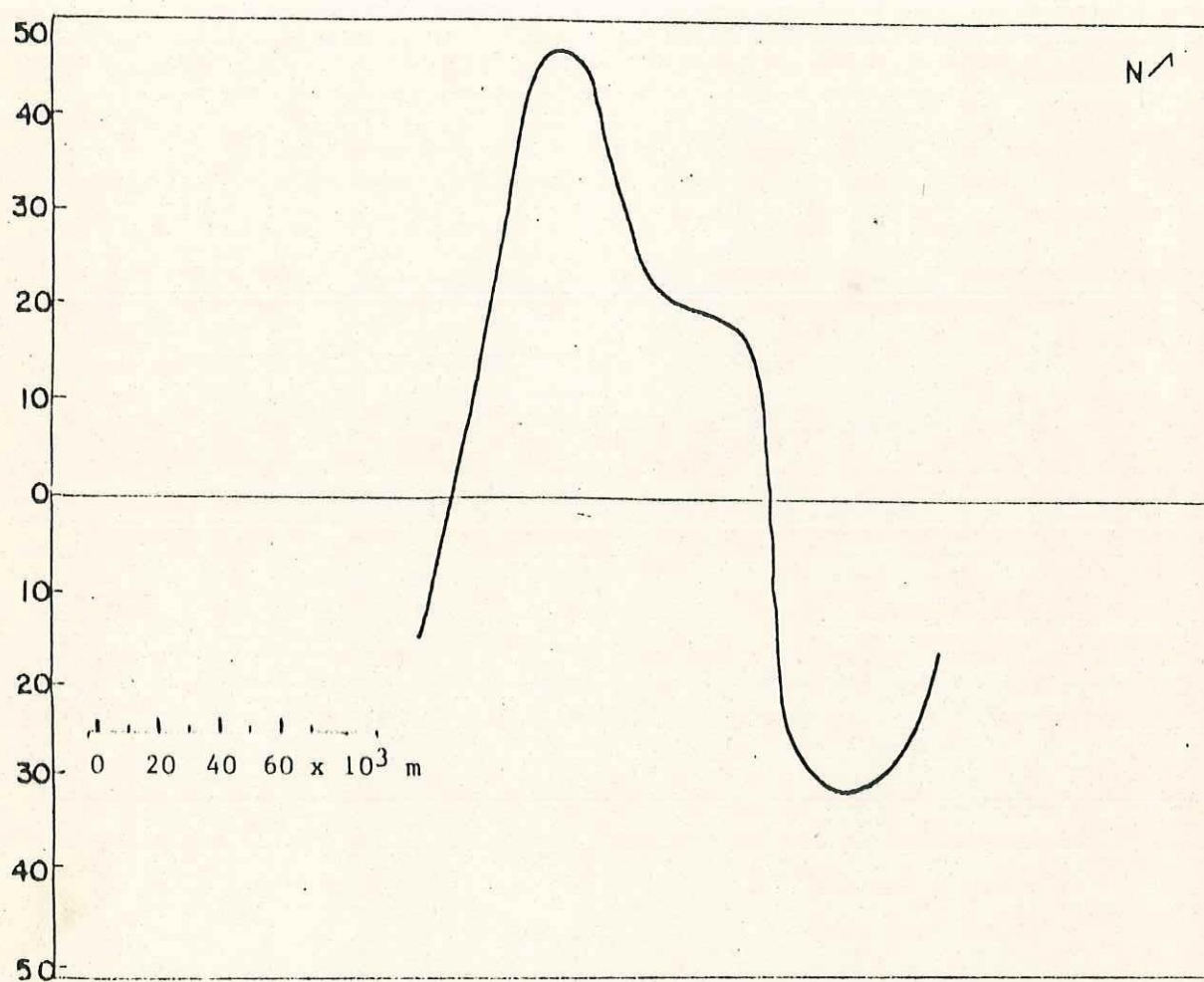


FIGURA # 21. Gráfica del transporte neto a través del transecto III en toda la columna de agua relativo a 1000 db. El transporte total en el transecto fué de $21.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. en dirección Noroeste. (Unidades: Por $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$.)