

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**“DISTRIBUCION ESPACIAL DEL SISTEMA
DEL BIOXIDO DE CARBONO EN LA REGION
NOROCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA”**



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
OCEANOLOGO

PRESENTA:

MARIA LILIANA VALDEZ FLORES

Ensenada, B.C. Mayo de 1991

RESUMEN:

El presente trabajo forma parte del proyecto HIACOS-II de la Secretaría de Marina, realizado del 2 al 6 de mayo de 1990 en la región noroccidental de Baja California entre 0 y 300 m de profundidad.

En la capa superficial de la zona Norte, los valores máximos de 8.2 de pH, 6.0 mL/L de oxígeno disuelto y valores mínimos de 1.95 mM/L de bióxido de carbono, así como valores negativos de UAO, son resultado del proceso fotosintético. En la capa de fondo, valores mínimos de 7.55 en pH, 1.55 mL/L en oxígeno disuelto, valores altos de 2.1 mM/L de bióxido de carbono y valores positivos de UAO, son causados por los procesos bioquímicos respiración y oxidación de materia orgánica.

En la superficie de la zona Central, se obtuvieron valores homogéneos de temperatura y salinidad, así como escasas variaciones de oxígeno disuelto, alcalinidad total y pH.

En la superficie de la parte Sur, se obtuvieron valores máximos de 2.15 mM/L de bióxido de carbono, 2.35 meq/L de alcalinidad total y valores homogéneos cercanos a 8.1 de pH, así como variaciones en la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, todo esto como resultado de mezcla.

En general se observó un incremento de salinidad y alcalinidad total con la profundidad y hacia mar abierto.

El promedio total de alcalinidad específica fue de 0.124 unidades de peso, para los dos niveles.

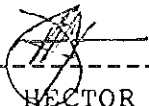
"DISTRIBUCION ESPACIAL DEL SISTEMA DEL BIOXIDO DE CARBONO
EN LA REGION NOROCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA."

TESIS

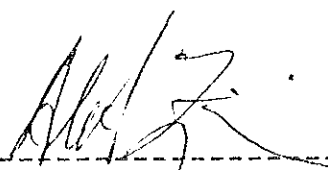
QUE PRESENTA:

MARIA LILIANA VALDEZ FLORES

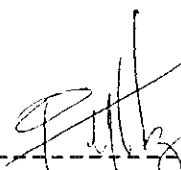
APROBADA POR:



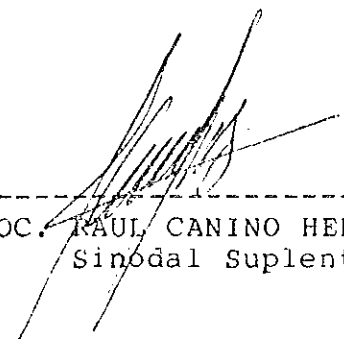
M.C. HECTOR BUSTOS SERRANO
DIRECTOR DE TESIS



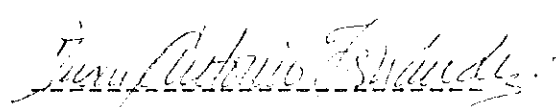
DR. ALBERTO R. ZIRINO WEISS
Sinodal Propietario



OC. GUILLERMO M. MARTINEZ GARCIA
Sinodal Propietario



OC. RAUL CANINO HERRERA
Sinodal Suplente



OC. JUAN ANTONIO FERNANDEZ AFANGO
Sinodal Suplente

DEDICATORIA:

A ti papá (Q.E.P.D.) que aun vives en mí.

A ti mamá por compartir mis sueños.....

a los dos por despertar en mi interior un reto, y ayudarme a escalarlo.

A mis hermanos que siempre estuvieron cerca de mí,
GRACIAS.

A mi inolvidable "amigocha" Lole y cia. que juntos recorrimos esta trayectoria llenos de sueños realizados y metas que alcanzar.

A Alex por ser esa pequeña lucesita que me ayudo, a que esto llegara a su FIN.

A Saúl, Chuya, a los MANDRAKOS, a las familias Rodríguez Castillo, Martínez Martínez, Zarate Juárez y todas aquellas personas que me ofrecieron una buena amistad y que por falta de espacio es imposible nombrar.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Oceanografía Naval por el proyecto Hidrología de Aguas Costeras con clave presupuestal DGO/0389. Al personal técnico y eventual de la Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada.

Al Dr. Alberto R. Zirino Weiss por todo el apoyo brindado para la realización de esta tesis.

Al M.C. Gilberto Gaxiola Castro por sus asesorías incondicionales que fueron muy útiles para reforzar este trabajo.

Al M.C. Armando Rodríguez Pinal por sus acertados comentarios que contribuyeron al mejoramiento de este escrito.

Al Oc. Horacio Martínez Tortolero por su gran ayuda en la adaptación de los programas computacionales para manejar la tira de datos.

A mi Director de tesis M.C. Héctor Bustos Serrano por su gran apoyo y acertada dirección para esta tesis.

Al Oc. Guillermo M. Martínez García por asesorarme desde el inicio de este trabajo.

A Héctor y a Memo por la confianza y PACIENCIA, que me tuvieron durante el desarrollo de este TRABAJO.

I N D I C E

RESUMEN	I
HOJA DE APROBACION.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
INDICE.....	V
LISTA DE TABLAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE ANEXOS.....	VII
1.- INTRODUCCION.....	1
1.1.- GENERALIDADES.....	1
1.2.- ANTECEDENTES.....	3
1.3.- OBJETIVO.....	5
2.- METODOLOGIA.....	6
2.1.- DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	6
2.2.- METODOS DE CAMPO.....	8
2.3.- METODOS DE LABORATORIO.....	9
2.4.- METODOS DE GABINETE.....	11
3.- RESULTADOS.....	13
4.- DISCUSIONES.....	37
5.- CONCLUSIONES.....	41
6.- SUGERENCIAS.....	42
7.- BIBLIOGRAFIA.....	43
8.- ANEXOS.....	48

LISTA DE TABLAS:

VI

Tabla 1.- Resultados estadísticos obtenidos a 0 y 300 m de profundidad.....	47
--	----

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1.- Localización de las estaciones muestreadas.....	7
Figura 2.- Distribución Superficial de Temperatura.....	14
Figura 3.- Distribución Vertical de Temperatura de los transectos I, II, III y IV.....	15
Figura 4.- Distribución Vertical de Temperatura del transecto V.....	16
Figura 5.- Distribución Superficial de Salinidad.....	18
Figura 6.- Distribución Vertical de Salinidad de los transectos I, II, III y IV.....	19
Figura 7.- Distribución Vertical de Salinidad del transecto V.....	20
Figura 8.- Distribución Superficial de Oxígeno Disuelto...	22
Figura 9.- Distribución Vertical de Oxígeno Disuelto de los transectos I, II, III y IV.....	23
Figura 10.- Distribución Vertical de Oxígeno Disuelto del transecto V.....	24
Figura 11.- Distribución Superficial de pH.....	26
Figura 12.- Distribución de pH a 300 m de profundidad.....	27
Figura 13.- Distribución Vertical de pH de los transectos I y II.....	28

	VII
Figura 14.- Distribución Superficial de Alcalinidad Total	30
Figura 15.- Distribución a 300 m de profundidad de Alcalinidad Total	31
Figura 16.- Distribución Vertical de Alcalinidad Total del transecto I	32
Figura 17.- Distribución Superficial de TCO_2	34
Figura 18.- Distribución de TCO_2 a 300 m de profundidad	35
Figura 19.- Distribución Vertical de TCO_2 del transecto I	36

LISTA DE ANEXOS:

Anexos I.- Localización de las Estaciones Muestreadas en el CRUCERO HIACOS II-90 por Secretaría de Marina	48
---	----

1.- INTRODUCCION

1.1.-GENERALIDADES:

El aire atmosférico es una mezcla de gases cuyos componentes naturales son nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua y algunos gases inertes.

El CO_2 actúa como filtro al dejar pasar los rayos solares y como pantalla al impedir la salida de los rayos infrarrojos que se irradian al calentarse la corteza terrestre. La concentración de CO_2 es incrementada por la sobreutilización de los combustibles fósiles y carbón. Cerca del 50% del CO_2 que se emite, permanece en la atmósfera y el resto es casi totalmente absorbido por los océanos (Albert, 1988).

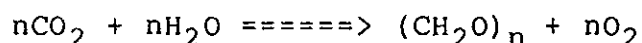
En el intercambio gaseoso de CO_2 entre atmósfera y océano, existen diferencias de concentración de un lugar a otro, debido a los gradientes formados. Estas diferencias dependen de la presión parcial y concentración en equilibrio.

El CO_2 presenta alta solubilidad en el agua de mar, y al disolverse reacciona formando en pocos minutos las siguientes especies: H_2CO_3 (ácido carbónico), HCO_3^- (bicarbonato), CO_3^{2-} (carbonato). Este sistema regula el pH en el océano (Sverdrup et al., 1942).

El CO_2 en el océano forma parte de reacciones bioquímicas fundamentales como fotosíntesis y respiración, es afectado por la dinámica del lugar, principalmente los procesos físicos de advección y difusión, siendo un constituyente no conservativo (Gaxiola-Castro, 1978).

Los organismos marinos junto con los procesos fisicoquímicos, mantienen el equilibrio dinámico, en el intercambio del sistema CO_2 océano-atmósfera (Stumm y Morgan, 1981).

La fotosíntesis es un proceso por medio del cual las plantas utilizan el CO_2 , agua y energía solar para producir materia orgánica y oxígeno gaseoso lo que provoca un aumento de pH. La reacción química es:



La respiración se lleva a cabo por plantas y animales, teniendo una reacción inversa a la fotosíntesis, consume el oxígeno disuelto y produce un aumento en el contenido de CO_2 lo que provoca un decremento de pH en el medio. El CO_2 también puede ser generado por la descomposición de materia orgánica, y su concentración alterada a grandes profundidades por la disolución y precipitación del mineral carbonato de calcio (Ross, 1970).

Las concentraciones en el equilibrio del sistema CO_2 en el océano, son afectadas por salinidad, temperatura y

presión hidrostática. El aumento de salinidad y temperatura disminuyen la solubilidad, mientras que a mayor presión la solubilidad aumenta. Además, procesos bioquímicos como fotosíntesis provocan un decremento de la presión parcial del bióxido de carbono (PPCO_2) y en aguas profundas la PPCO_2 es incrementada por la respiración (Krogh, 1904 y Buch 1939).

En el presente trabajo se hace un estudio de la variación espacial del bióxido de carbono, pH y alcalinidad total, generando información aplicable a estudios posteriores como identificación de masas de agua, eventos de surgencias, estudios de productividad orgánica primaria y estudios básicos de hidrología.

1.2.- ANTECEDENTES:

El estudio del sistema CO_2 se ha efectuado por algunos investigadores de la oceanografía química, así como por especialistas que han descubierto la importancia del carbono como un elemento biológicamente activo (Culberson, 1972).

Park en 1965, define el bióxido de carbono total (TCO_2) como la suma de las concentraciones en milimolar de CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- y CO_3^{2-} disueltos en agua de mar.

En 1966 Park, estudió el pH superficial en el Pacífico oriental, obteniendo un promedio de 8.15 en latitudes altas (42°N) y 8.29 en latitudes bajas (23°N) y concluyó que la superficie del agua estaba sobresaturada con respecto al CO_2 atmosférico, durante los meses de Abril a Junio de 1966.

La concentración de CO_2 en zonas de surgencias fue medida por Kelley et al., (1971), en aguas superficiales del mar de Bering, y obtuvieron valores altos de CO_2 , NO_3^- y salinidad además de valores bajos de oxígeno y temperatura.

Simpson y Zirino (1980) encontraron en la costa Peruana un pH promedio de 7.8 en el área de afloramiento de aguas profundas con valores saturados de CO_2 y un pH promedio de 8.5 en la zona adyacente (al Oeste del límite del área de estudio).

Pérez et al., (1986) estudian el CO_2 en el mar Mediterráneo occidental y propone un método de estudio de masas de agua, utilizando diagramas triangulares en donde se considera la alcalinidad (A-S).

Gaxiola Castro y Alvarez Borrego (1978) reportaron en la zona Sur del Golfo de California, valores bajos de temperatura, salinidad, oxígeno, pH y porcentaje de saturación de carbonato de calcio con respecto a aragonita y calcita con valores máximos de TCO_2 , con respecto a los valores superficiales del resto del Golfo.

En la región noroccidental de Baja California no existen antecedentes del contenido total de bióxido de carbono.

1.3 OBJETIVO:

Describir la distribución espacial del bióxido de carbono, pH y alcalinidad total en la región noroccidental de Baja California, a 0 y 300 m de profundidad.

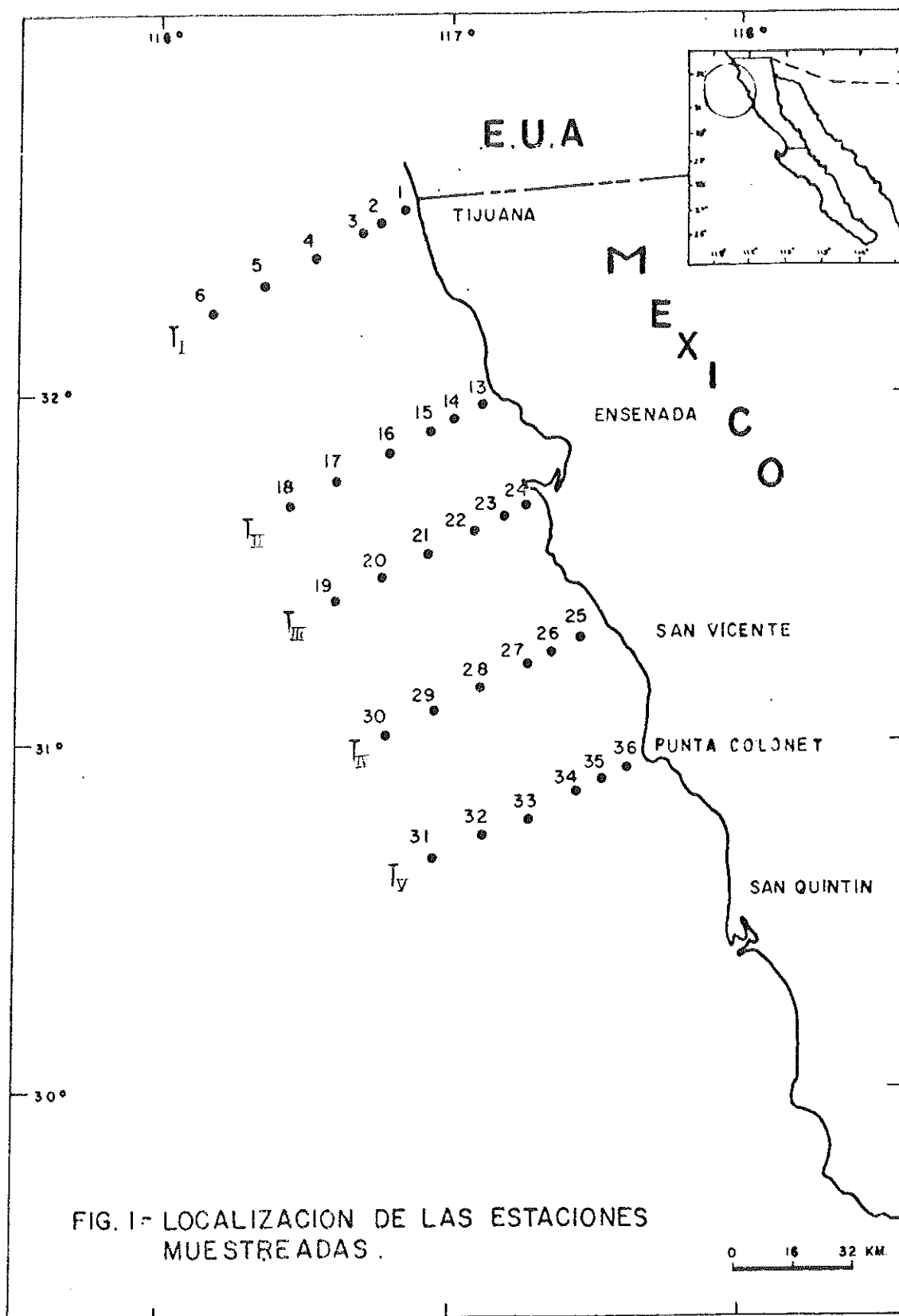
2.- METODOLOGIA

2.1.- DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO:

El área de estudio es una zona de dominio costero dentro del Sistema de la Corriente de California (Lynn et al., 1967) y se encuentra ubicada en la Cuenca Sur de California entre la Ciudad de Tijuana y Punta Colonet a los $32^{\circ} 30'N$ y $30^{\circ} 40.9'N$, y $117^{\circ} 49.98'W$ y $117^{\circ} 4.7'W$ (Fig.1).

El Sistema de la Corriente de California es complejo, ya que comprende otras corrientes como; la Corriente de California, la Contracorriente Subsuperficial, la Contracorriente Sur de California y la Corriente de Davidson.

La Corriente de California inicia su recorrido por Alaska hacia el Sur, donde la masa de agua que predomina es la Subártica del Pacífico Norte con alto contenido de oxígeno disuelto y fosfatos, baja salinidad y temperatura (Sverdrup et al., 1942). Por debajo de la termoclina y a lo largo del talud continental fluye hacia el Norte la Contracorriente Subsuperficial, con mayor salinidad y temperatura, además de una baja concentración de oxígeno disuelto; la Contracorriente Sur de California es un flujo semipermanente, que proviene del agua ecuatorial del Pacífico, que viaja hacia el Norte y se caracteriza por tener una elevada temperatura y salinidad, baja concentración de oxígeno y valores altos de fosfatos.



La Corriente de Davidson, es un flujo superficial asociado con el patrón de vientos de invierno. La Cuenca del Sur de California es una zona de transición entre el agua de dominio Subártico y las masas de agua de dominio Ecuatorial (Gómez-Valdes, 1980).

2.2.-MÉTODOS DE CAMPO:

Se cubrieron 30 estaciones hidrológicas a profundidades estándar (UNESCO, 1966), ubicadas a lo largo de la costa de Baja California del 2 al 6 de Mayo de 1990 (Fig.1).

Las muestras de agua de mar fueron obtenidas con botellas Niskin (General Oceanics Inc) de 3 litros de capacidad.

El pH se determinó con un potenciómetro Orion, modelo 701-A (precisión ± 0.001), de acuerdo con el método descrito por Zirino (1975).

Para alcalinidad total se utilizó el método de Culberson, et al., (1969).

La salinidad se midió con un salinómetro-conductímetro marca Beckman modelo 118-WA200 con $\pm 0.003\%$ de precisión, calibrándose con agua subestándar.

La temperatura se midió con termómetros reversibles (protegidos y no protegidos), marca Kahlsico, con un arreglo de uno y uno. Con precisión $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$.

El oxígeno disuelto se determinó por el procedimiento Winkler, modificado por Strickland y Parsons (1972).

Todas las determinaciones fueron hechas a bordo.

2.3.- MÉTODOS DE LABORATORIO:

Para el procesamiento de datos se efectuaron los cálculos siguientes:

pH "in situ".

$$\text{pH} = \frac{(E_{\text{celda}} - E_7)(B_7 - B_4)}{(E_7 - E_4)} + B_7 \quad (\text{Ecuación 1})$$

siendo E celda, la medición del voltaje en mv de la celda con agua de mar; E4 y E7 es la medición de los amortiguadores marinos en mv; B4 y B7 son los valores de pH estandarizados con las soluciones amortiguadoras de 7.45 y 8.87 elaboradas con agua de mar y denominadas amortiguadores tris-marinos (Furhmann y Zirino, 1988).

Para el cálculo de alcalinidad total, se realizó como lo marcan Culberson et al., (1969). A partir de este cálculo se obtuvieron la alcalinidad de los carbonatos (Ac) y alcalinidad de boratos (Ab):

$$\text{Ac} = \text{At} - \text{Ab} \quad (\text{Ecuación 2})$$

debido a que la alcalinidad de carbonatos no se

puede medir directamente, se obtuvo de la siguiente manera: ¹⁰

$$Ac = At - (K'b * Bt / K'b + aH^+) \quad (\text{meq/L})$$

(Ecuacion 3)

siendo $K'b$ la primera constante de disociación del H_3BO_3 ; Bt es igual a $0.222 * Cl\%$ (mg/kg) y aH^+ es la actividad del ión hidrógeno del pH "in situ" medido.

El bióxido de carbono total (TCO_2) se determinó por la ecuación de Skirrow (1965):

$$TCO_2 = Ac \frac{[aH]^+ + aH K'1K'2}{aH K'1 + 2K'1K'2} \quad (\text{meq/L})$$

(Ecuacion 4)

siendo $K'1$ la primera y $K'2$ la segunda constante aparente de disociación del ácido carbónico calculadas con las ecuaciones de Edmond y Gieskes, (1970), para presión igual a una atmósfera.

En el procesamiento de los resultados se realizó estadística descriptiva (promedio, desviación estándar y coeficiente de correlación) (Tabla I). Posteriormente se elaboraron gráficas, perfiles e isolíneas tanto superficiales como verticales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad total y TCO_2 de los transectos muestreados^{*1}.

*1 Las variables pH, alcalinidad total y TCO_2 por fallas técnicas de última hora, no se pudieron obtener completamente (excepto los transectos que se presentan).

El CO_2 se determinó indirectamente en base a los datos de pH "in situ", salinidad y alcalinidad total, utilizando las constantes aparentes de disociación del ácido carbónico de Edmond y Gieskes (1970), en un programa escrito en basic "TOTCARB" por el Dr. Alberto Zirino (1986)*2.

La alcalinidad específica se calculó a partir de clorinidad y alcalinidad total según Strickland y Parsons (1972).

2.4.- METODOS DE GABINETE:

La utilización aparente de oxígeno está relacionado con la concentración de oxígeno disuelto, del cual es alterado en la superficie por intercambios con la atmósfera y procesos biológicos como la fotosíntesis, mientras que en la profundidad son limitados por el consumo de oxígeno disuelto involucrado en el proceso de respiración y oxidación de materia orgánica. La UAO también es afectada por los procesos de mezcla. Y puede ser expresada por la siguiente ecuación.

$$\text{UAO} = \text{O}'_2 - \text{O}_2 \quad (\text{Ecuación 5})$$

siendo O'_2 la concentración de oxígeno esperado, el cual es obtenido por tablas a partir de los valores conocidos de

*2 Dr. Alberto R. Zirino W. (comunicación personal)
Facultad de Ciencias Marinas
Ensenada, B.C. México.

temperatura y salinidad; y O_2 es la concentración de oxígeno¹² medido. El resultado se expresa en valores negativos y positivos.

El valor de UAO indica masas de agua sobresaturadas de oxígeno disuelto (valores -) y masas de agua bajos en concentración de oxígeno disuelto (valores +).

3.- RESULTADOS

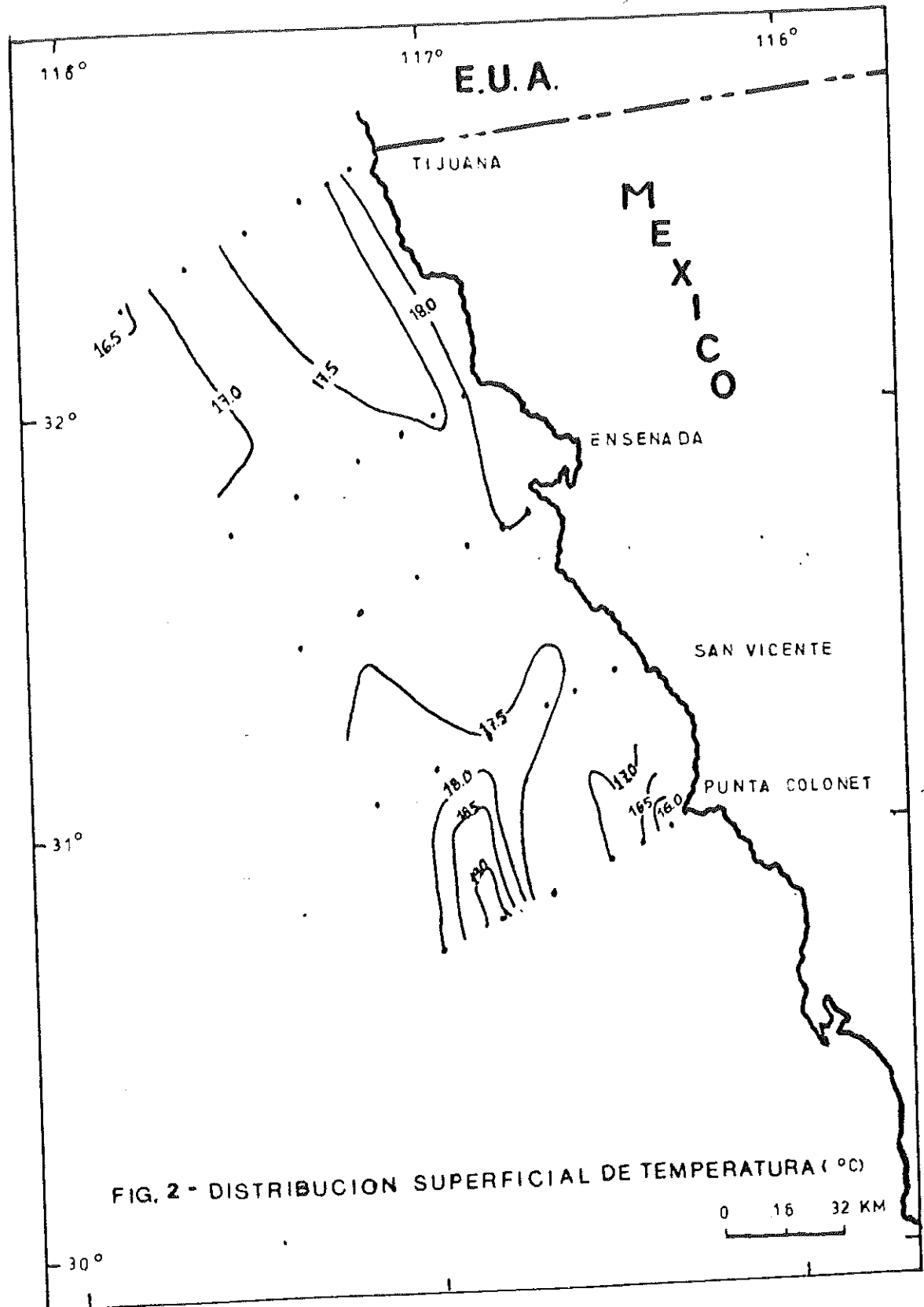
TEMPERATURA:

Los valores máximos de temperatura superficial, se observaron en localidades cercanas a la costa excepto en el transecto V, donde el gradiente de temperatura fue inverso, registrándose los valores extremos de la zona muestreada, con el mínimo de 16.0°C cercano a la costa y el máximo de 19.0°C hacia mar abierto. En la zona norte, se localizó una extensa lengua homogénea cercana a la costa, con temperatura de 17.5°C (Fig. 2).

La termoclina estacional se presentó para los transectos I, II y III (Fig. 3 a, b y c) aproximadamente a 60 m de profundidad, mientras que para los transectos IV y V (Figs. 3 d y 4) se encontró que la termoclina descendió hasta aproximadamente 95 m.

La temperatura disminuye con la profundidad registrando un valor mínimo de 7.0°C a 300 m en la estación 16 (Fig. 3 b).

Las isotermas se presentaron estratificadas mostrando mayores variaciones en los primeros 100 m, a diferencia del resto de la columna de agua donde su variación fue escasa. En el transecto V se observó que las isolíneas se plegaron en la parte central con sentido opuesto a la costa (Fig. 4).



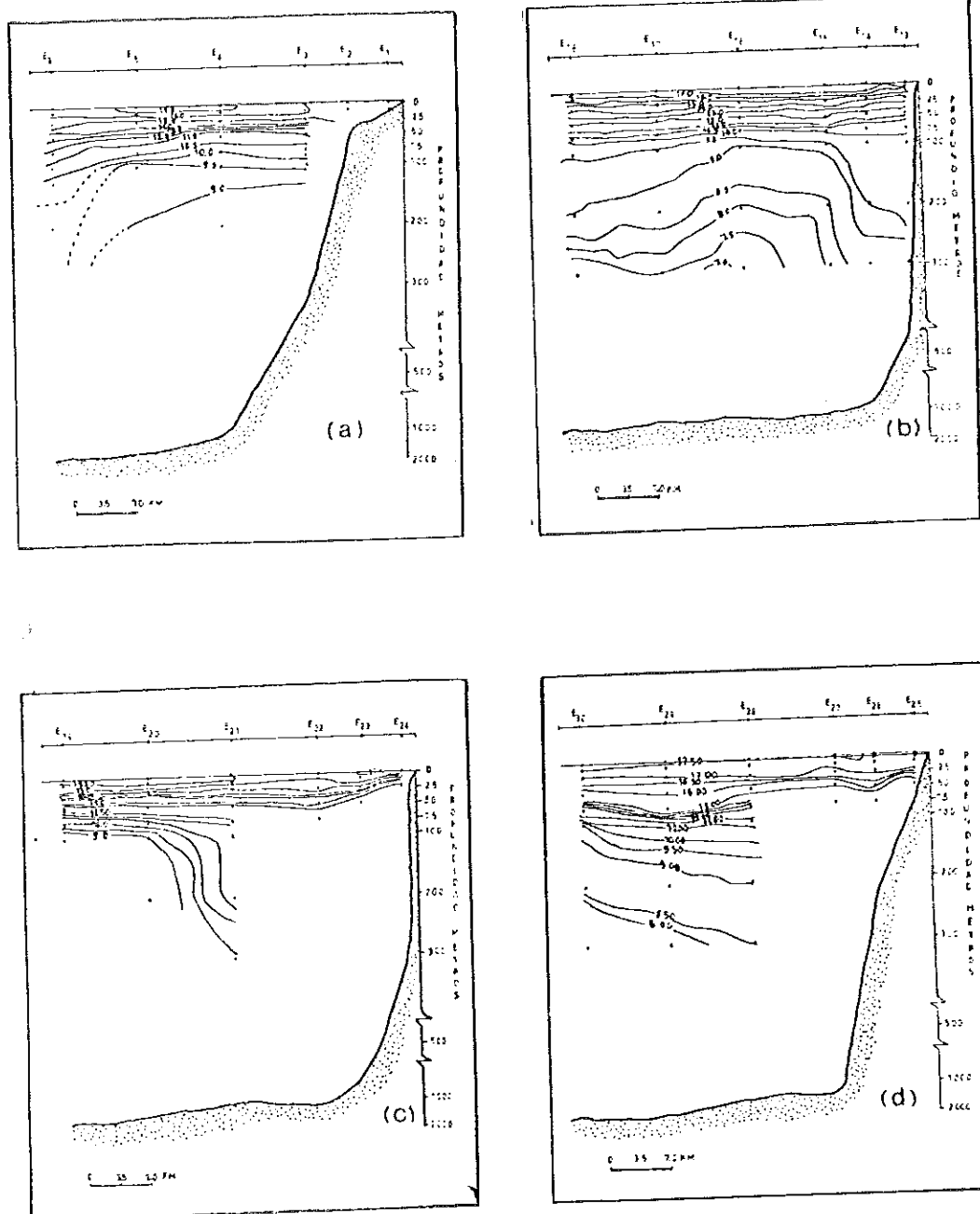


FIG. 3.- DISTRIBUCION VERTICAL DE TEMPERATURA (°C)
DE LOS TRANSECTOS I(a), II(b), III(c) Y IV(d).

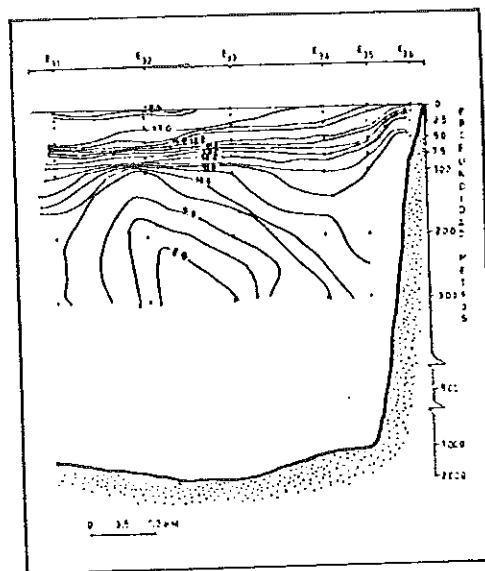


FIG.4.-DISTRIBUCION VERTICAL DE TEMPERATURA (°C)
DEL TRANSECTO V.

SALINIDAD:

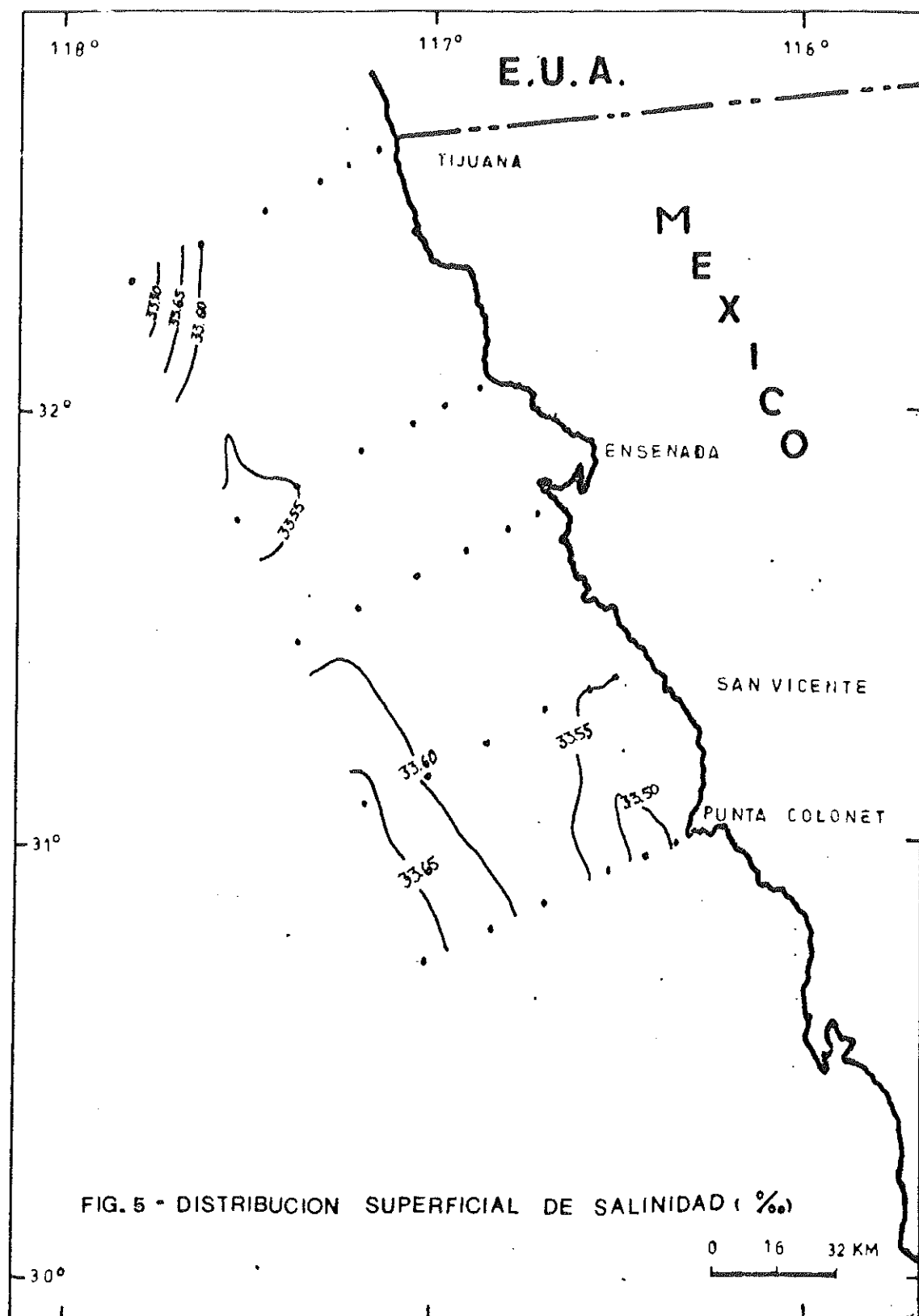
Los valores de salinidad superficial presentaron un máximo de 33.70 ‰ en la estación 6 del transecto I y un mínimo de 33.50 ‰ en la estación 35 del transecto V. En la parte Central se observó, una extensa zona homogénea con valores entre 33.55 ‰ y 33.60 ‰, la concentración descendió ligeramente hacia la costa (Fig. 5 y Tabla I) .

En las isolíneas verticales los valores se incrementaron con respecto a la profundidad (Figs. 6 y 7). La haloclina se presentó entre los 75 y 90 m para los transectos I, II y IV (Fig. 6 a, b y d) mientras que en el transecto III (Fig. 6 c) varió entre 75 y 260 m. En el transecto V se presentó entre 150 m en la estación 36 y 260 m en la estación 33 (Fig. 7).

La estratificación vertical de los transectos fue muy variada cerca de la superficie, donde se observaron zonas homogéneas arriba de la haloclina, mientras que a mayor profundidad los cambios fueron mínimos.

OXIGENO DISUELTO:

El valor máximo de oxígeno disuelto en la superficie fue de 6.0 mL/L (estación 1) y el mínimo de 5.50 mL/L en la parte Norte y Central de la zona de estudio (Fig. 8 y Tabla I). La distribución superficial muestra un



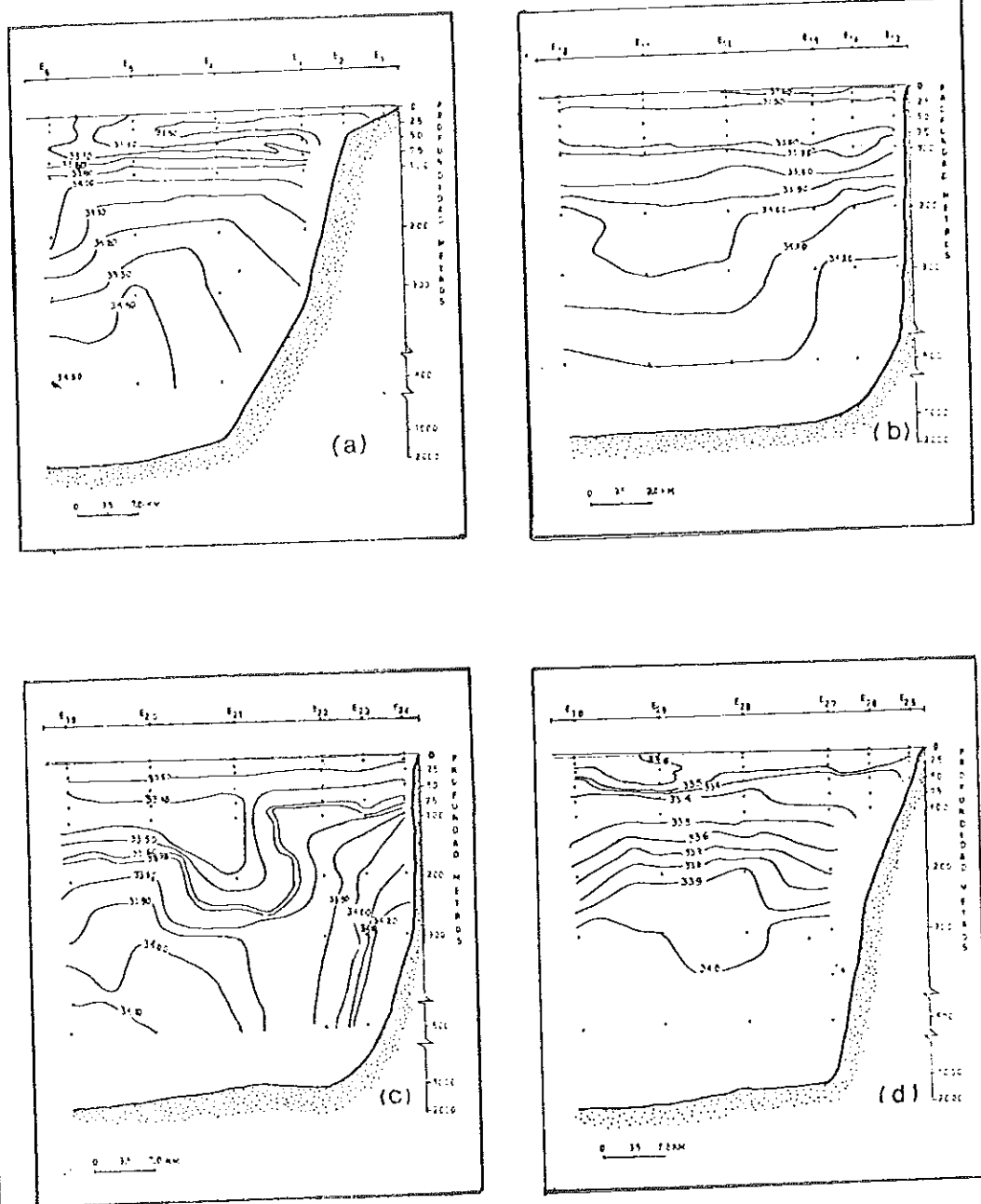


FIG. 6. DISTRIBUCION VERTICAL DE SALINIDAD (‰)
DE LOS TRANSECTOS I(a), II(b), III(c) Y IV(d).

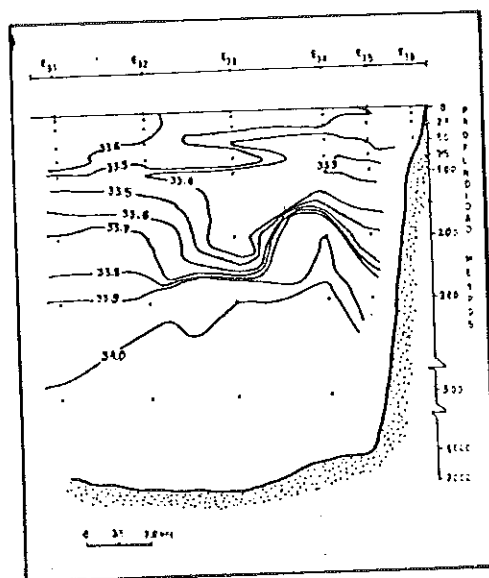
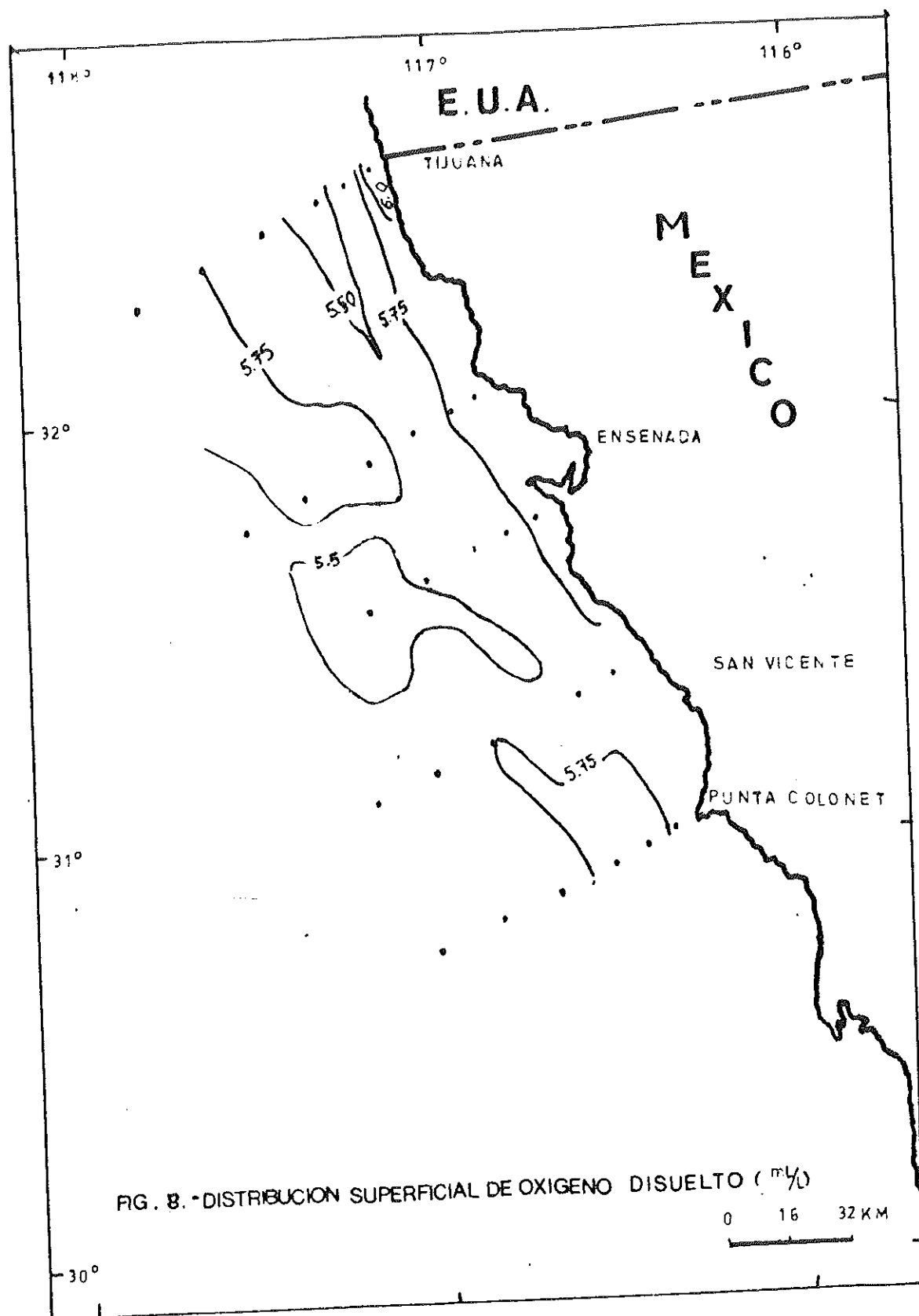


FIG.7.- DISTRIBUCION VERTICAL DE SALINIDAD (%)
DEL TRANSECTO V.

incremento en la concentración de oxígeno disuelto hacia la costa, a excepción del transecto V, que presenta lo contrario, en el resto de los transectos, las concentraciones varían muy poco. Entre Ensenada y San Vicente se observa una zona homogénea con una concentración de 5.50 mL/L, mientras que en la zona norte se registraron claramente dos intrusiones de agua de 5.75 y 5.50 mL/L.

La concentración de oxígeno disuelto descendió al incrementarse la profundidad, registrándose zonas homogéneas cercanas a la superficie, con un valor máximo de 6.0 mL/L en los transectos I, III y IV (Figs. 9 a, c y d). Dichas zonas se localizaron entre 5 y 45 m de profundidad en los transectos I y III; mientras que en el transecto I se localizó entre 60 y 125 m. En los transectos II y V (Figs. 9 b y 10) la concentración máxima fue de 5.5 mL/L registrada entre 5 y 30 m y la otra entre los 30 y 225 m de profundidad, respectivamente.

La estratificación vertical de los transectos se presentó bien definida con variaciones cerca de la superficie, donde se observaron zonas homogéneas entre 5 y 250 m de profundidad, presentando una escasa variación a mayor profundidad.



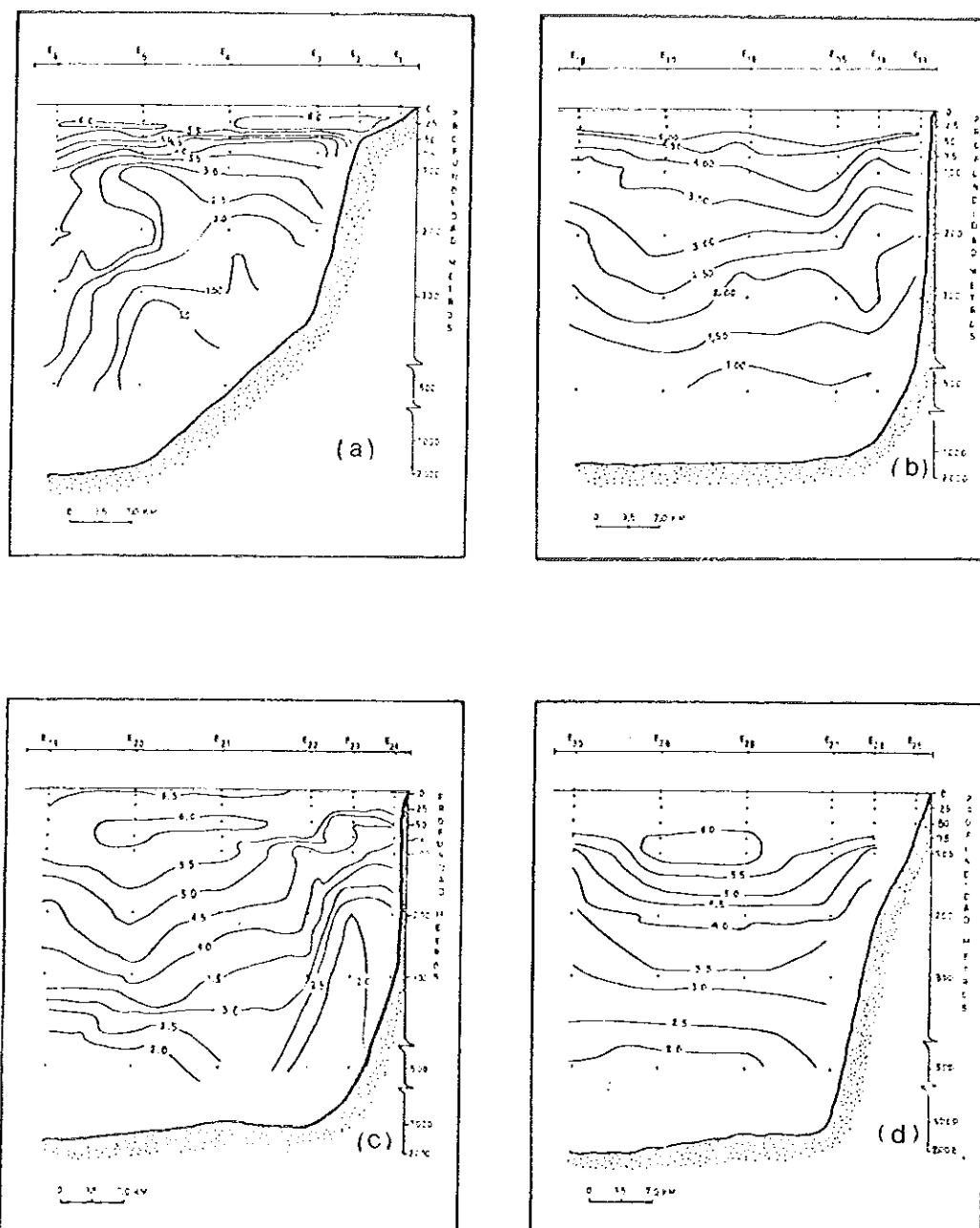


FIG.9.-DISTRIBUCION VERTICAL DE OXIGENO DISUELTO (ml/L) DE LOS TRANSECTOS I(a),II(b),III(c) Y IV(d).

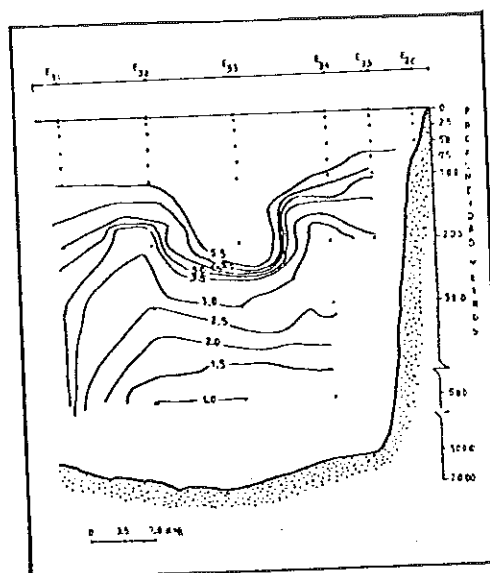


FIG.10. DISTRIBUCION VERTICAL DE OXIGENO DISUELTO DEL TRANSECTO V.

UAO:

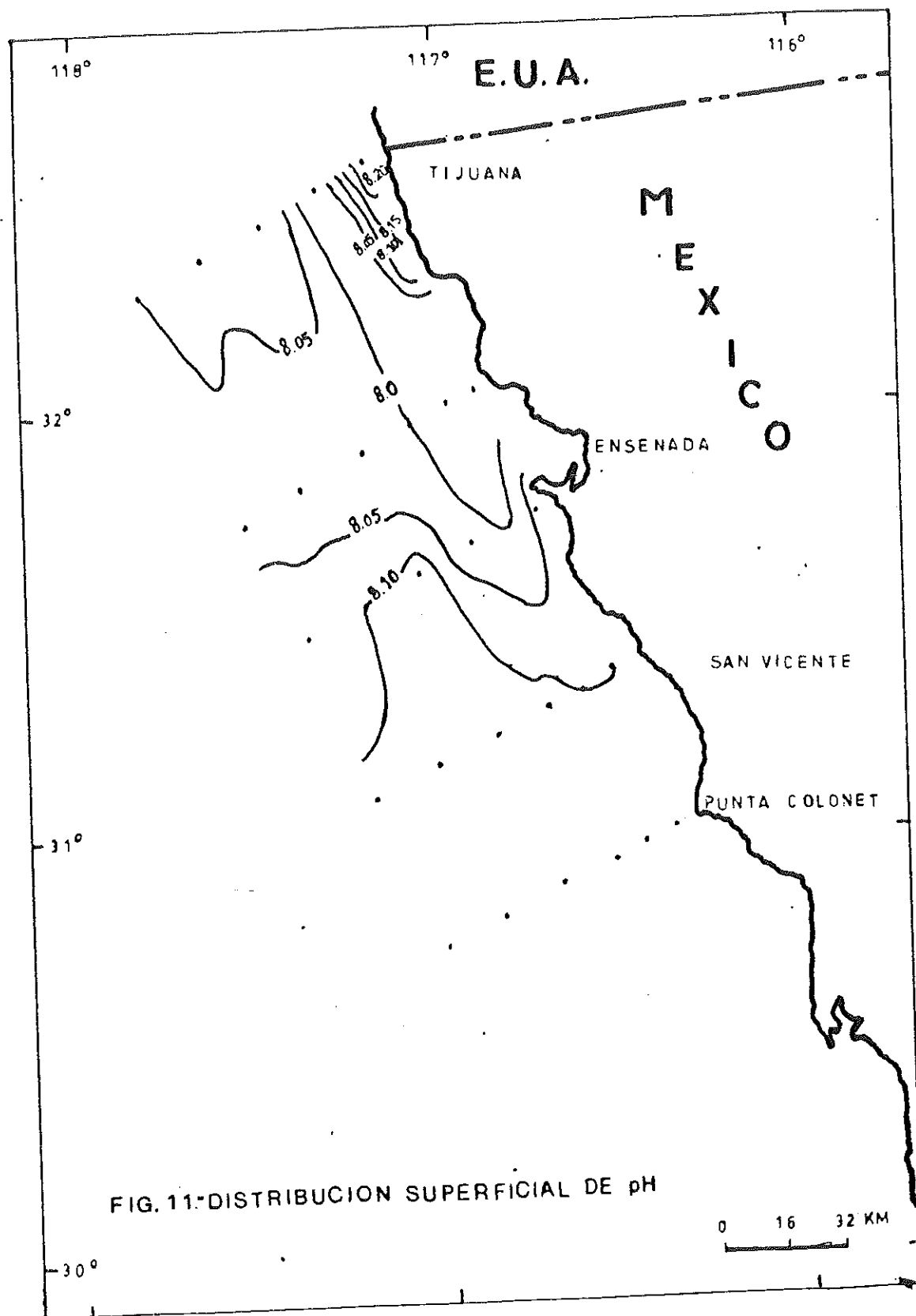
El promedio superficial fue de -0.199 mL/L con un coeficiente de variación de 83.31% , mientras que a 300 m de profundidad fue de 4.19 mL/L y un coeficiente de variación de 24.69% (Tabla I).

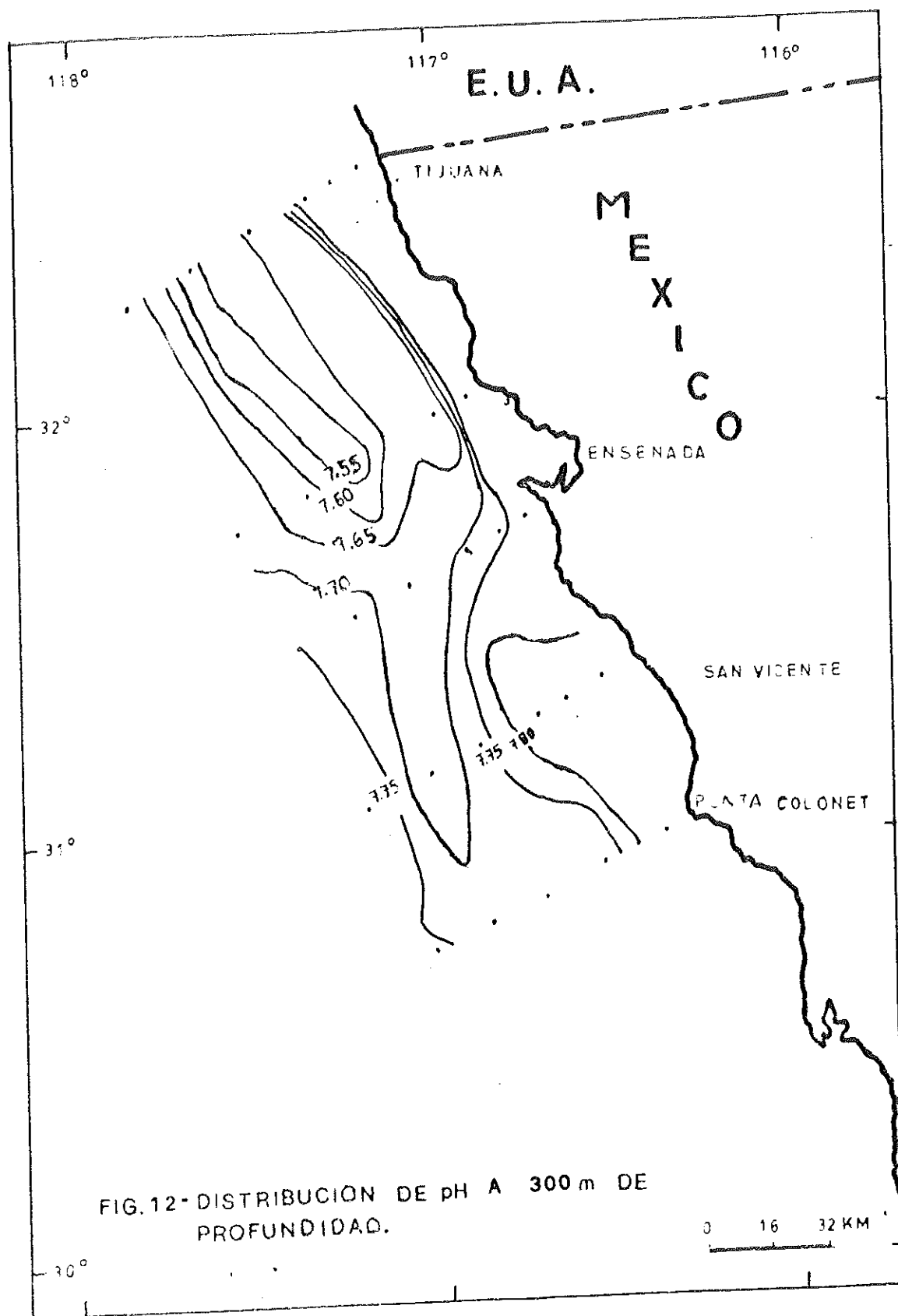
pH:

La distribución superficial del pH mostró un valor máximo de 8.2 unidades al Norte, en la costa ubicada frente a la Ciudad de Tijuana y un mínimo de 8.0 unidades en los transectos I, II y III cercanos a la costa, la variación superficial fue mínima (Tabla I). La parte Sur registró una extensa zona homogénea con valores cercanos a 8.10 unidades (Fig. 11).

A 300 m de profundidad los valores máximos de pH se registraron cercanos a la costa, con un máximo de 7.80 entre los transectos IV y V y un mínimo de 7.55 comprendiendo los transectos I y II. La concentración fue homogénea en la región Central, aumentando hacia el Sur de la costa (Fig. 12).

Los valores más altos de pH se presentaron en superficie con una concentración de 8.10 y disminuyeron hacia el fondo con un valor de 7.50 ambos en el transecto I (Fig. 13 a). Los valores de pH en la columna de agua del





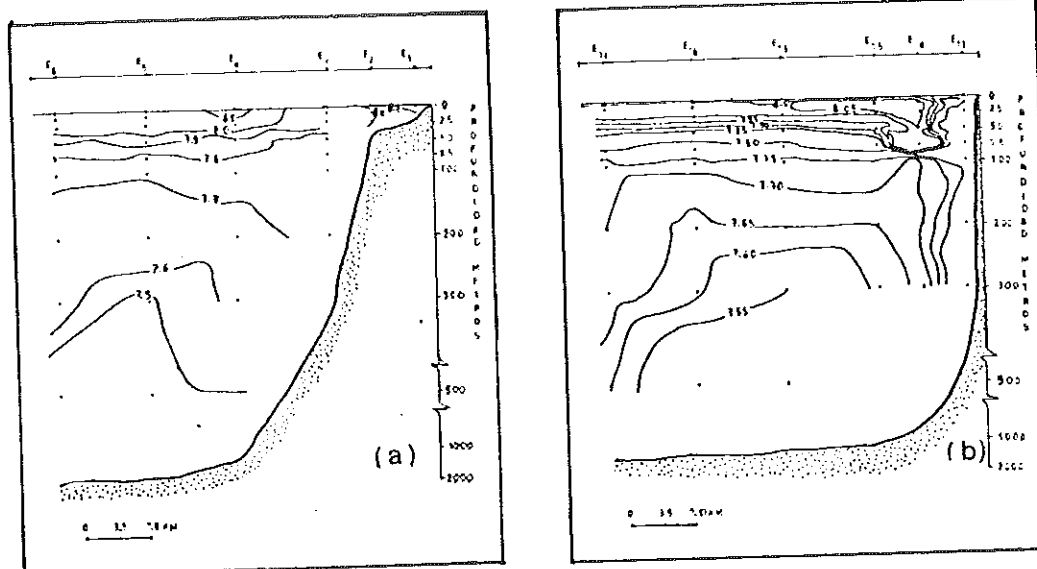


FIG. 13. DISTRIBUCION VERTICAL DE pH
DE LOS TRANSECTOS I(a) Y II(b).

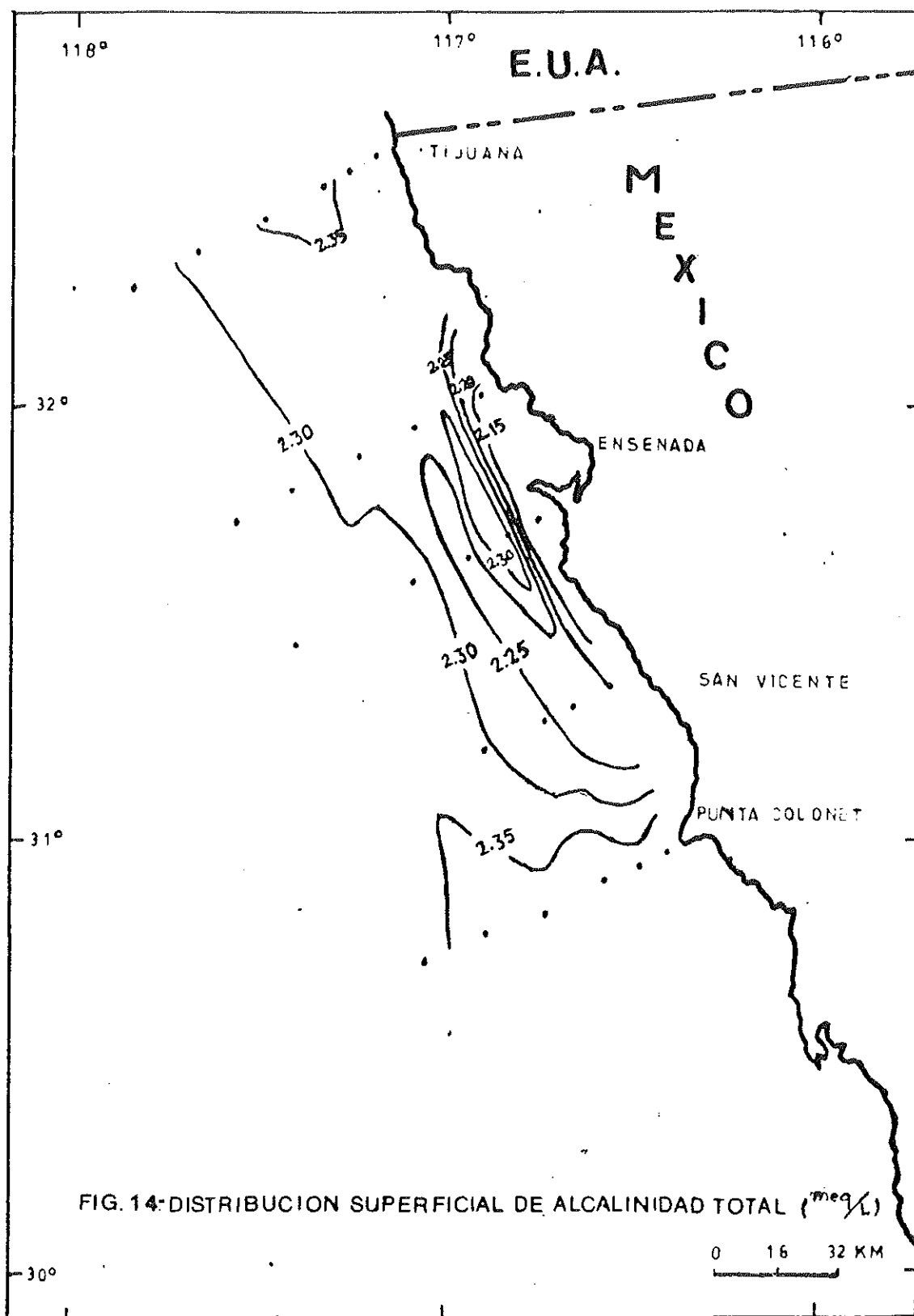
transecto II muestran una variabilidad en los primeros 80 m siendo su fluctuación menos notoria a profundidades mayores (Fig. 13 b).

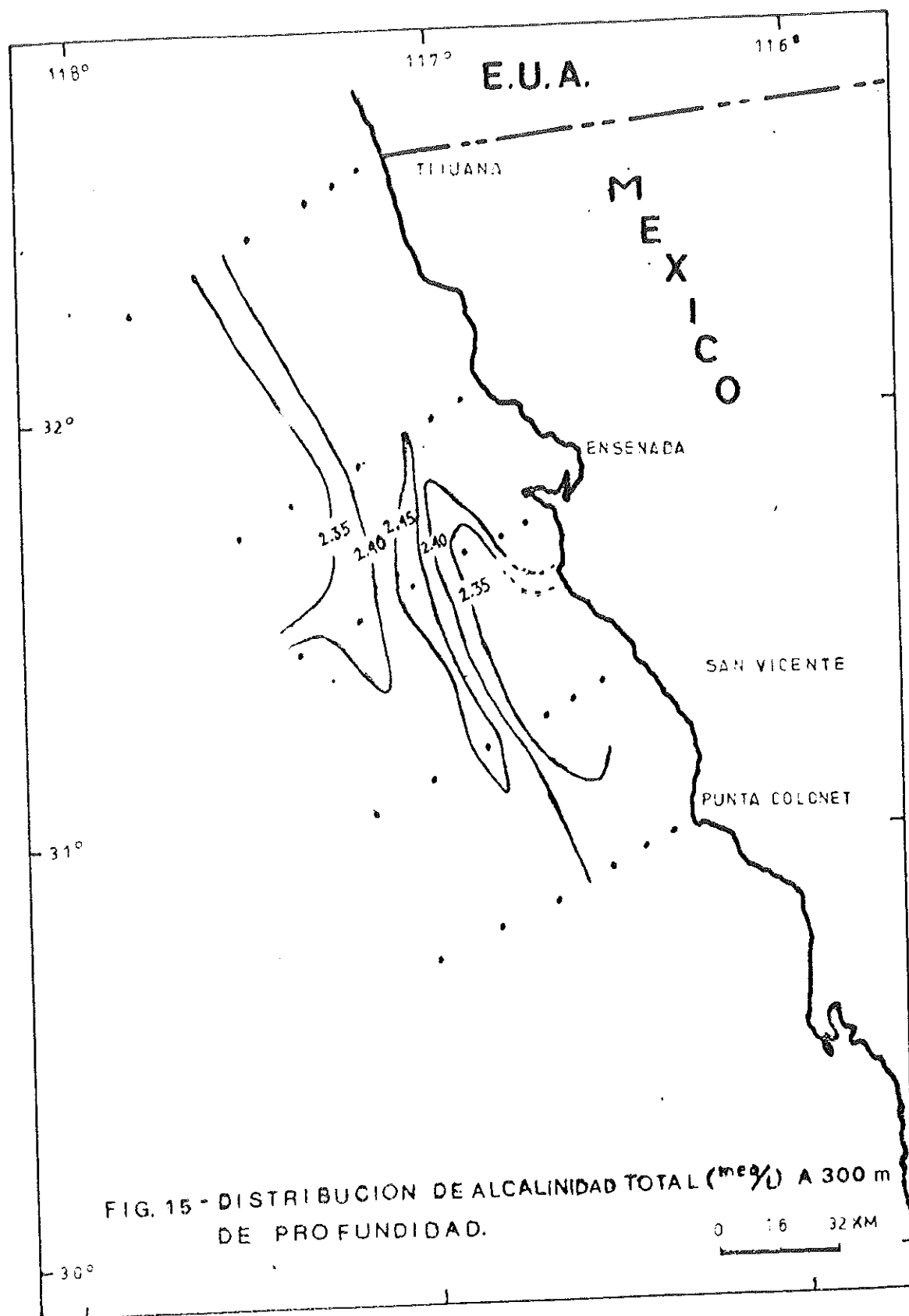
ALCALINIDAD TOTAL:

La distribución superficial de alcalinidad total presentó un valor máximo de 2.35 meq/L al Norte y al Sur de la zona de estudio; y un mínimo de 2.15 meq/L entre los transectos II y III en las estaciones cercanas a la costa, la variación superficial fue mínima (Tabla I). Se observó que la concentración disminuye hacia la costa excepto al Norte y Sur de la zona muestreada (Fig. 14).

A 300 m de profundidad, se observó en las estaciones intermedias de los transectos II, III y IV una zona homogénea, con una concentración máxima de 2.45 meq/L. El valor mínimo fue de 2.35 meq/L registrado al Norte hacia mar abierto y al Sur hacia la costa (Fig. 15).

El transecto I, mostró que los valores aumentaron a mayor profundidad registrando un valor máximo de 2.45 meq/L entre 200 y 400 m de profundidad. La estratificación fue definida y presentó cambios de concentración cerca de la superficie hasta 50 m mientras que a mayor profundidad se registraron variaciones muy escasas (Fig. 16).





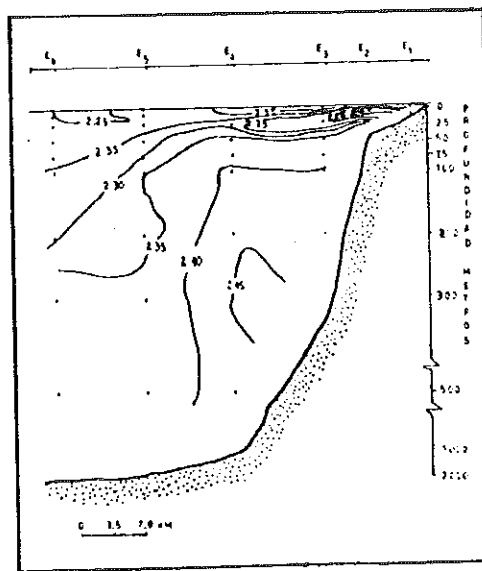


FIG.16. DISTRIBUCION VERTICAL DE ALCALINIDAD TOTAL (meq/l) DEL TRANSECTO I.

ALCALINIDAD ESPECIFICA:

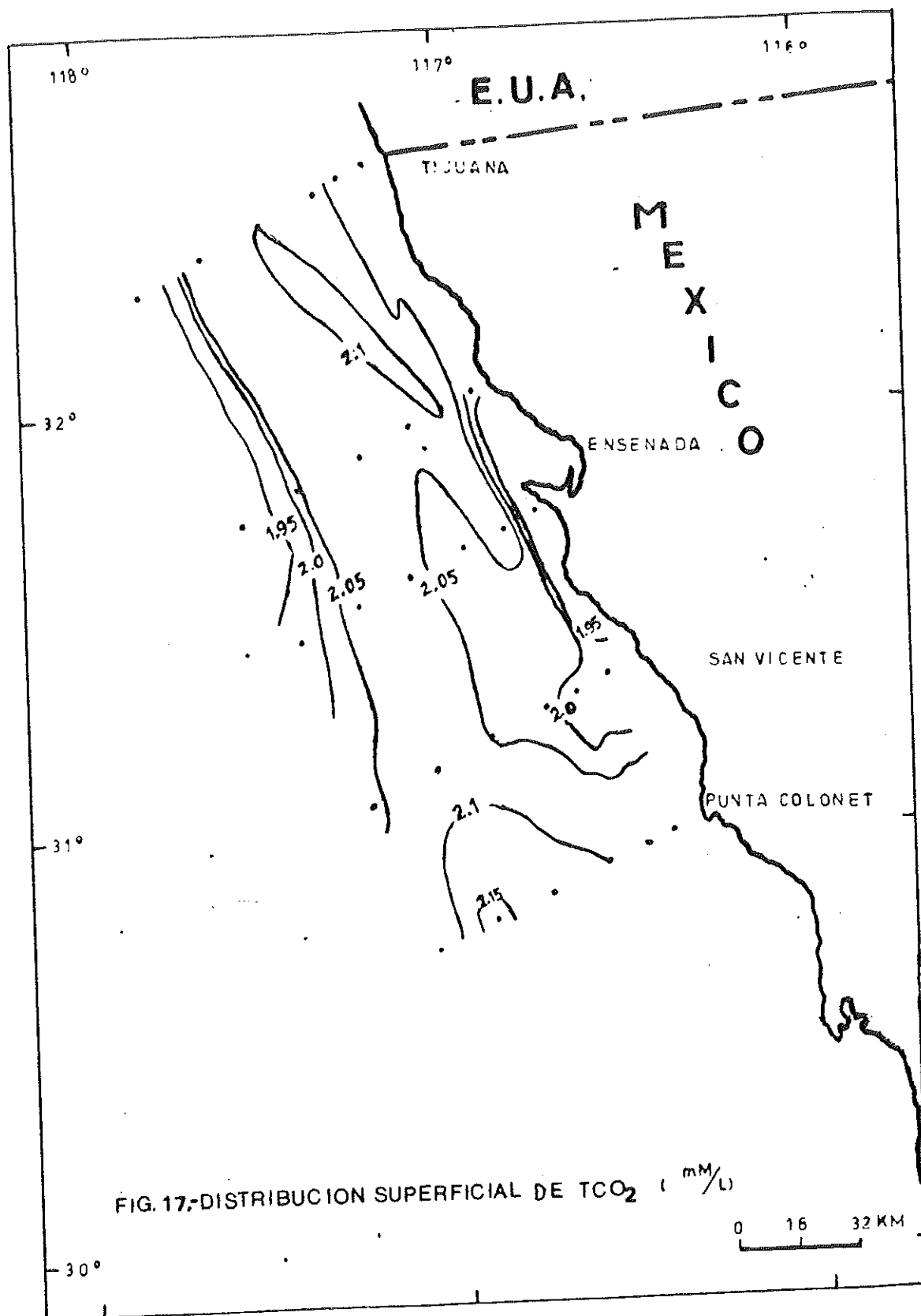
El promedio total fue de 0.124 unidades (Tabla I) para 0 y 300 m de profundidad aumentando su concentración con la profundidad.

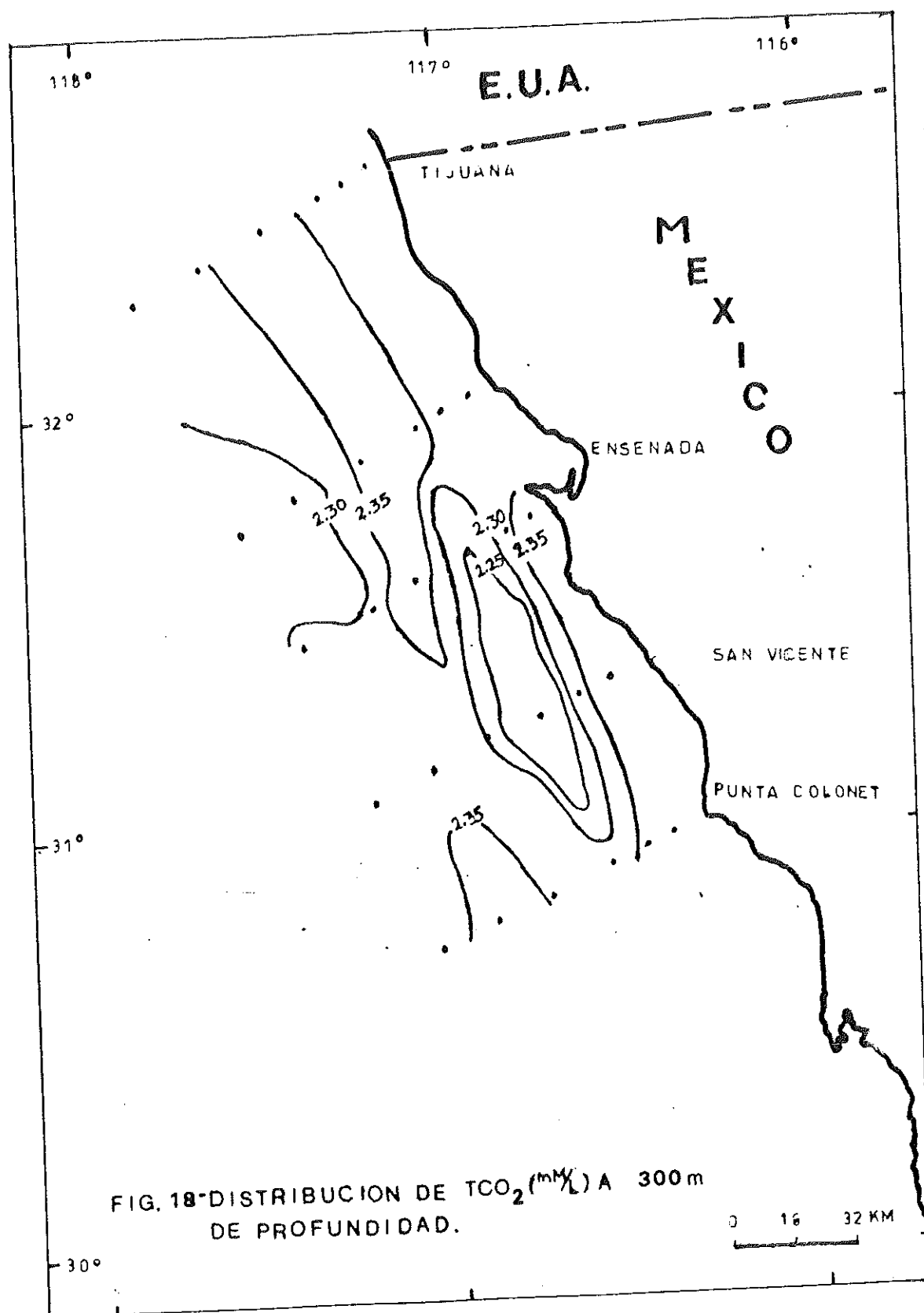
CONTENIDO TOTAL DE BIOXIDO DE CARBONO (TCO₂):

En la distribución superficial, se observó un ligero aumento de TCO₂ en los transectos localizados al Sur de la zona muestreada, con un valor máximo de 2.15 meq/L y un valor mínimo de 1.95 meq/L registrado al Norte en los puntos más retirados de la costa y cercano a la costa de Ensenada. La variación superficial fue mínima (Tabla I). Al Norte se presentó una pequeña zona homogénea con una concentración de 2.10 meq/L (Fig. 17).

El TCO₂ a 300 m de profundidad presentó un valor máximo de 2.35 meq/L en la parte Norte, Sur y en las estaciones cercanas a la costa. El valor mínimo fue de 2.25 meq/L localizado en una zona homogénea entre los transectos III y IV (Fig. 18).

Los valores de TCO₂ aumentaron con la profundidad. La estratificación desde la superficie hasta 60 m fue muy variada en comparación del resto de la profundidad que muestra ligeras variaciones (Fig. 19).





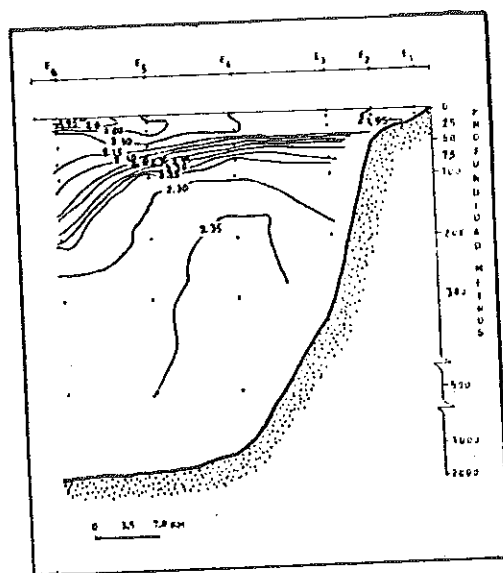


FIG.19.-DISTRIBUCION VERTICAL DE TCO_2 (mm/L)
DEL TRANSECTO I.

4.- DISCUSIONES

La distribución superficial de pH y oxígeno disuelto mostraron un ligero aumento hacia la costa, esto se le puede atribuir al intercambio atmósfera-océano, cambios bruscos de temperatura y procesos de mezcla, que influyen en la actividad fotosintética donde las plantas, con la ayuda de la luz, consumen el bióxido de carbono y liberan oxígeno provocando un aumento de pH (Park, 1966).

Los valores máximos superficiales de pH y oxígeno disuelto que se registraron en la costa de Tijuana, pudieron ser un resultado de la actividad fotosintética, al momento del muestreo, esto es común en primavera, cuando la fotosíntesis excede a la respiración (Riley, 1989).

En las estaciones alejadas de la costa se encontro valores altos de oxígeno disuelto y valores bajos de temperatura, así como una concentración alta de fosfatos Millán-Núñez^{*3} (en preparación), que denota en la zona Norte una intrusión de una masa de agua. Esto se interpreta como una influencia de la Corriente de California, que viaja al Sur y que en latitudes bajas es modificada por procesos de evaporación y mezcla (Sverdrup et al., 1942; Gómez-Valdes, 1980).

*3 M.C. Millán-Núñez E. (Crucero HIACOS II- 1990)
E.I.O. Secretaría de Marina
Ensenada Baja California

La Contracorriente Subsuperficial del Sur de California que fluye al Norte, pudo influir en la variabilidad de la temperatura, salinidad, concentración de fosfatos y oxígeno disuelto (Gómez-Valdes, 1980). La homogeneidad de oxígeno, temperatura y salinidad, en la región central puede ser producto del choque de masas de agua entre el flujo de la Corriente que viaja hacia el Sur y la Contracorriente del Sur de California (Gómez-Valdes, 1980).

El núcleo de TCO_2 superficial en la zona Norte se le puede atribuir a una baja fotosíntesis, ya que coincidió con los valores mínimos de oxígeno disuelto y pH.

Un intenso proceso de mezcla al Sur de la zona de estudio, puede explicar la homogenización valores de pH.

Así mismo, en la parte Sur, la termoclina estacional se desplaza hacia la superficie al acercarse a la costa pudiendo indicar la presencia de una surgencia. Esto se puede comprobar con otra clase de estudios, que podrían informar sobre eventos de surgencia.

Las surgencias en Baja California son de mayor intensidad en primavera y verano. Ocasionadas por el viento y batimetría del lugar. Se presentan activamente de 3 a 4 meses del año, con una duración de 3 a 10 días (Reid et al., 1958; Bakun, 1973) citadas por Gómez Valdes en 1980.

La evaporación en la superficie afectó los valores de salinidad, que aumentó ligeramente hacia mar adentro (Reid, 1958; Hernández-Enciso, 1979).

La alcalinidad total en superficie variò por los organismos calcáreos y el movimiento dinámico generado en la capa superficial, presentando en la parte Sur una zona homogénea con valores altos, debido a una posible señal de surgencia. El comportamiento de esta variable con respecto a la profundidad, es a aumentar, quiza debido a la precipitación de los organismos calcáreos (Weihaupt, 1984).

La respiración de los organismos marinos y la oxidación de materia orgánica disminuyen los valores de pH y oxígeno disuelto en la columna de agua, incrementando la concentración de TCO_2 (Ross, 1970), esto da explicación al valor mínimo de pH registrado a 300 m de profundidad en la zona Norte.

En el nivel profundo la presión hidrostática, temperatura, oxidación de materia orgánica y organismos marinos producen el incremento del TCO_2 (Park, 1969).

El valor mínimo de TCO_2 presentado entre Ensenada y San Vicente a 300 m de profundidad, pudo ser afectado por el aumento de temperatura y una baja actividad respiratoria.

Los cambios verticales de pH y TCO_2 en la zona Norte, se deben al aumento de la presión hidrostática y al efecto de la temperatura, que disminuyen las constantes de disociación del ácido carbónico, además de ocurrir el proceso de respiración. Esto explica el incremento del TCO_2 y el descenso de pH a 300 m de profundidad siendo resultado de la formación de iones hidrógeno del ácido carbónico disociado (Riley, 1989).

Las concentraciones máximas de oxígeno disuelto de los transectos IV y V registrada entre 75 y 200 m de profundidad, pudieron ser debida al calentamiento de la capa superficial y la formación de una termoclina más estable, que sirvió como trampa para retener el escape de oxígeno disuelto hacia la superficie (Reid et al., 1958, Shulenberg y Reid, 1981).

La poca variación de la alcalinidad específica desde la superficie hasta 300 m de profundidad, se puede asociar con la formación de iones complejos con calcio, que depende de su concentración en el medio. En la superficie una alta productividad causa que la concentración disminuya. En aguas profundas, aumentó ligeramente, por las estructuras calcáreas de los organismos del plancton muerto que "llueven" desde la superficie disolviéndose rápidamente debido al efecto de la presión y una alta concentración de CO_2 (Riley, 1989; Koczy, 1956 y Park, 1966).

5.- CONCLUSIONES

* La capa superficial al Norte cercana a la costa presentò valores altos de pH, oxígeno disuelto, valores bajos de bióxido de carbono total y valores negativos de UAO, como resultado de la actividad fotosintética.

* La capa de fondo al Norte de la zona de estudio presentò valores bajos de pH y oxígeno disuelto, valores altos de bióxido de carbono total y valores positivos el UAO causada por la respiración y oxidación de materia orgánica.

* En la zona Central se observaron valores homogéneos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, producto de la transición de la Corriente de California que viaja al Sur y la Contracorriente del Sur de California que viaja al Norte.

* La salinidad y alcalinidad total se incrementan hacia mar abierto y con respecto a la profundidad.

* El valor promedio de alcalinidad específica, para toda la zona y en los dos niveles fuè 0.124 unidades.

* Se obtuvo una mayor variación del contenido del bióxido de carbono total en la superficie que a 300 m de profundidad.

6.- SUGERENCIAS

Este trabajo aporta información, que puede complementar a otros estudios, como la identificación de eventos de surgencia, estudio de masas de agua, estudios de productividad orgánica primaria, obtención de porcentajes de calcita y aragonita, así como estudios básicos de hidrología.

- Albert, L. A., 1988. TOXICOLOGIA AMBIENTAL. Ed. LIMUSA
2a. edición, capítulo 4, págs. 49-66.
- Bakun, A. 1973. COASTAL UPWELLING INDICES WEST COAST OF NORTH AMERICA, Department of Commerce, NOAA, Tech. Rep. NMFS SSRF-671, págs. 103.
- Buch, K.O., 1939. STUDIES UBER NEURE PH-METHODIK MIT BESONDERER BERUICKSICHTIGUNG DES MEERUSASSERS. Acta Acad. Aboensis, Math., et Physica, Abo. Finland. V.12, no.3, págs.41.
- Culberson, Ch., Pytkowicz R.M. y Hawley J.E., 1969. SEAWATER ALKALINITY DETERMINATION BY THE pH METHOD. J. Mar. Res. 28: Department of Oceanography, Oregon State University Corvallis., Oregon 97331. págs. 15-21.
- Culberson, Ch., 1972. PROCESSES AFFECTING THE OCEANIC DISTRIBUTION OF CARBON DIOXIDE. Ph Thesis. School of Oceanography, Oregon State University, Corvallis, Oregon. págs. 178.
- Edmond, J.M. y T.M. Gieskes, 1970. ON THE CALCULATION OF THE DEGREE OF SATURATION OF SEAWATER WITH RESPECT TO CALCIUM CARBONATE UNDER in situ CONDITIONS. Geochim. Cosmochim. Acta 34, págs. 1261 - 1291.
- Furhmann, R.A. y A. Zirino, 1988. HIG-RESOLUTION DETERMINATION OF THE pH OF SEAWATER WITH A

FLOW-THROUGH SYSTEM. Deep Sea Res. Cap. 35,
pág. 197 - 208.

- Gaxiola-Castro, G., 1978. SISTEMA DE BIOXIDO DE CARBONO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA. Tesis de Oceanologo, U.A.B.C.
- Gaxiola C.G. y S.A. Borrego, 1978. SISTEMA DE BIOXIDO DE CARBONO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA. Revista de Ciencias Marinas. Núm. 5, págs. 25 - 40.
- Gómez-Valdes, J., 1980. VARIACION ESTACIONAL EN EL SISTEMA DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA FRENTE A ENSENADA, B. C.. Tesis de Maestria CICESE Ensenada, B. C., México, págs. 165.
- Hernandez-Enciso, H. M., 1978. COMPORTAMIENTO DE VARIABLES QUIMICAS DE UNA SURGENCIA. Tesis de Licenciatura, U.A.B.C.
- Kelley J.J L.L Longerich, 1971. EFFECT OF UPWELLING AND HIGH PRIMARY PRODUCTIVITY ON CO₂ ALASKA. Journal of Geophysical Research. Vol. 76:pág. 8687-8693.
- Koczy, F. F., 1956. Deep Sea Res. Vol 2 págs. 279.
- Krogh, Agust, 1904. ON THE TENSION OF CARBONIC ACID IN NATURAL WATERS AND ESPECIALLY IN THE SEA. Medd. om Groland, v.26, pág.342.
- Lynn, R. J., 1967. SEASONAL VARIATION OF TEMPERATURE AND SALINITY AT 10 METERS IN THE CALIFORNIA CURRENT. Calif. Ocean. Fish. Invest. Rep. II pág. 157-186.

- Park, K. P., 1965. TOTAL CARBON DIOXIDE IN SEA WATER. J. Oceanol. Soc. Japan, 21: pág. 54-59.
- Park, K. P., 1966. SURFACE pH OF THE NORTHEASTERN PACIFIC OCEAN. Journal of the Oceanological Society of Korea. Vol.1, No.1-2: pág. 210-215.
- Park, K. P., 1968. ALKALINITY AND pH OFF THE COAST OF OREGON. Deep Research. Vol.15: pág. 171-183.
- Park, K. P., 1969. OCEANIC CO₂ SYSTEM. An Evaluation of ten methods of investigation. Limnology and Oceanography. Vol 14, No. 2, pág. 179-186.
- Pérez, F.F. y Estrada M., 1986. SISTEMA DEL CARBONICO, OXIGENO Y NUTRIENTES EN EL MEDITERRANEO OCCIDENTAL. inv. pesquera 50(3), pág. 333-351.
- Reid, J.L., Jr., G.I. Roden y J.G. Wyllie, 1958. STUDIES OF THE CALIFORNIA CURRENT SYSTEM. Calif. Coop. Fish. Invest. Prog. Rep. 1 Julio 1956 - 1 January 1958: págs. 29 - 57.
- Riley J.P. y Chester R., 1989. INTRODUCTION TO MARINE CHEMISTRY. Ed. Academic Press inc., Liverpool England, Chapter 6.
- Ross D.A., 1970. INTRODUCTION TO OCEANOGRAPHY. Ed. Appleton-Century-crofts, New York, pág.106-118.
- Shulenberger, E. y Reid J. L., 1981. THE PACIFIC SHALLOW OXIGEN MAXIUM, DEEP CHLOROPHY II MAXIUM, AND PRIMARY PRODUCTIVITY RECONSIDERED. Deep-Sea Research, Vol. 28, No. 9. Printed in Great

Britain, pág. 901-919.

- Skirrow, G., 1965. CHEMICAL OCEANOGRAPHY. (J. P. Riley y G. Skirrow eds.) Vol. 2. Academic Press, London.
- Stumm W. y Morgan J.J., 1981. AQUATIC CHEMISTRY. 2ed. Ed. Wiley Interscience, Zurich.
- Sverdrup, H., M.W. Johnson y R.H. Flemig, 1942. OCEANS. Their Physics Chemistry and General biology Ed. Prentice-Hall INC. Washington. Chapter 6: pág.165-228.
- Strickland, J.D.H. y Parsons, T.R. 1972. A PRACTICAL HANDBOOK OF SEAWATER ANALYSIS. Fisheries Research Board Canada. Bulletin 167 2ed. Ottawa Canada.
- Weihaupt J.G., 1984. EXPLORACION DE LOS OCEANOS. Introducci3n a la oceanografia. Ed. CECSA, México, pág. 212-228.
- Zirino A., 1975. MEASUREMENT OF THE APPARENT pH OF SEAWATER WITH A COMBINATION MICROELECTRODO. Limnol. Oceanogr. Vol. 20(4): pág. 654-657.
- Zirino A. y J. J. Simpson, 1980. BIOLOGICAL CONTROL OF pH IN THE PERIVIAN COASTAL UPWELLING AREA. Deep-Sea Research. Vol. 27: pág. 733-744.

TABLA I.- Resultados estadísticos obtenidos a 0 y 300 m de profundidad.

0 m de Prof.	T°C	S %.	O ₂	UAO
Promedio	17.43	33.58	5.72	-0.199
Des. Std.	0.725	0.447	0.134	0.166
C.V (%)	4.1	0.133	2.3	83.4
n	29	30	29	28
	pH	Alc.T	Alc.esp	TCO ₂
Promedio	8.071	2.28	0.123	2.04
Des. Std.	0.06	0.09	0.005	0.0001
C.V (%)	0.74	3.94	4.06	0.0049
n	30	28	28	28
300 m de Prof.	T°C	S %.	O ₂	UAO
Promedio	8.514	34.04	2.61	+4.191
Des. Std.	1.013	0.299	0.877	1.035
C.V (%)	11.89	0.87	33.6	24.69
n	17	24	23	17
	pH	Alc.T	Alc.esp	TCO ₂
Promedio	7.693	2.41	0.128	2.32
Des. Std.	0.10	0.064	0.0036	6.99E-05
C.V (%)	1.29	2.69	2.81	0.003
n	24	21	21	21

Promedio = Promedio del total de las muestras.

Des. Std. = Desviación estándar de las muestras.

C.V. = Coeficiente de Variación en porcentaje de las muestras.

n = Número total de muestras.

A N E X O I

48

Localización de las estaciones muestreadas en el
CRUCERO HIACOS II-90 por Secretaría de Marina.

TRANSECTO	EST.	LATITUD N	LONGITUD W
1	1	32° 30'	117° 10'
	2	32° 28'	117° 15'
	3	32° 26.2'	117° 19.8'
	4	32° 22'	117° 30'
	5	32° 18'	117° 40'
	6	32° 13.8'	117° 49.9'
2	13	31° 58'	116° 55'
	14	31° 56.5'	116° 56.5'
	15	31° 53.7'	117° 5.1'
	16	31° 49.9'	117° 25'
	17	31° 46'	117° 25'
	18	31° 41.5'	117° 35'
3	24	31° 41'	116° 45'
	23	31° 40'	116° 49.7'
	22	31° 36.9'	116° 55'
	21	31° 32.8'	117° 5'
	20	31° 29'	117° 15'
	19	31° 25'	117° 25'
4	25	31° 17'	116° 35'
	26	31° 15'	116° 40.1'
	27	31° 13'	116° 45.1'
	28	31° 5.1'	116° 55'
	29	31° 5'	117° 5'
	30	31° 1'	117° 15'

TRANSECTO	EST.	LATITUD N	LONGITUD W
5	36	30° 57'	116° 24.6'
	35	30° 54.8'	116° 29.9'
	34	30° 52.9'	116° 35'
	33	30° 49'	116° 45'
	32	30° 44.9'	116° 55'
	31	30° 40.9'	117° 4.7'