

BIBLIOTECA CENTRAL ENSENADA

Universidad Autónoma
de Baja California



BIBLIOTECA CENTRAL
ENSENADA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
Escuela Superior de Ciencias Marinas

ALGUNAS CONDICIONES DE SURGENCIA DURANTE
LA PRIMAVERA DE 1974, PARA EL AREA ADYA-
CENTE A PUNTA BANDA, BAJA CALIFORNIA.

UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE BAJA CALIFORNIA



ESCUELA SUPERIOR DE
CIENCIAS MARINAS
BIBLIOTECA

T E S I S

Que para obtener el título de

O C E A N O L O G O

P r e s e n t a

MARIA DEL CARMEN CHAVEZ GARCIA

Ensenada, Baja California

1975

A MIS PADRES

Por el gran apoyo que siempre
me han brindado.

A José Luis

A Marco Antonio y
Julia Graciela

I N D I C E

página

RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
Surgencias	3
Antecedentes	6
Efectos producidos por surgencias en la distribución de fitoplancton, para ilustrar la importancia bioló- gica de surgencias.	9
MUESTREO Y METODOS	13
RESULTADOS	16
DISCUSION	28
Temperatura	29
Salinidad	31
Densidad	32
Oxígeno	33
Nitratos	35
Deducción de velocidad ascendente y horizontal para el muestreo de Marzo.	38
CONCLUSION	42
APENDICE I.- Corrientes causadas por el viento y la rota- ción terrestre únicamente.	44
APENDICE II.- Análisis de contenido de nitratos en agua de mar.	57
AGRADECIMIENTOS	59
BIBLIOGRAFIA	61

ADQUIRIDO por donación Fecha de Ingreso NOV 10 1975

LISTA DE FIGURAS Y TABLA

<u>Figura</u>		<u>página</u>
1	Diagrama conceptual del proceso de surgencia costera.	5
2	Costa occidental de E.U.A. y Baja California, México.	5
3	Localización de las estaciones muestreadas.	14
4	Distribución vertical de temperatura (°C) para el transecto de : a) Punta Banda, 18 de diciembre; b) Punta Banda, 16 de marzo; c) Isla Sur, 16 de marzo; d) Punta Banda, 29 de mayo.	17
5	Distribución vertical de salinidad (‰) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de diciembre; b) Punta Banda, 16 de marzo; c) Isla Sur, 16 de marzo; d) Punta Banda, 29 de mayo.	19
6	Distribución vertical de densidad (δ_t) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de diciembre; b) Punta Banda, 16 de marzo; c) Isla Sur, 16 de marzo; d) Punta Banda, 29 de mayo.	21
7	Distribución vertical de oxígeno (ml/l) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de diciembre; b) Punta Banda, 16 de marzo; c) Isla Sur, 16 de marzo; d) Punta Banda, 29 de mayo.	23
8	Distribución vertical de % de saturación de oxígeno para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de diciembre; b) Punta Banda, 16 de marzo; c) Isla Sur, 16 de marzo; d) Punta Banda, 29 de mayo.	25
9	Distribución vertical de nitratos (μM) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de diciembre; b) Punta Banda, 16 de marzo; c) Isla Sur, 16 de marzo; d) Punta Banda, 29 de mayo.	27
10	Representación de la velocidad angular de la Tierra, y sus componentes.	47
11	Esquema de una función exponencial.	50
12	Eje de coordenadas utilizado, indicando la dirección del esfuerzo del viento (\vec{J}).	51

Lista de Figuras y Tabla - página 2

Figura

página

- | | | |
|----|--|----|
| 13 | Plano complejo donde $x=y=1$ | 53 |
| 14 | Dirección y velocidad de la corriente (representada por las flechas), a diferentes profundidades. (Ekman, 1905). | 56 |

Tabla

- | | | |
|---|--|----|
| 1 | Condiciones de viento y transportes de Ekman tres días antes del muestreo en marzo (inclusive), calculados a partir de datos de cartas meteorológicas. | 40 |
|---|--|----|

RESUMEN

Por mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno y nitratos, se trató de conocer el efecto de surgencia sobre estas propiedades analizándoseles en una época en la que no se esperaba que ocurriera surgencia y en otras en las que sí se esperaba que ocurriera. El contenido de nitratos en agua de mar, es un parámetro que no se había estudiado antes en la zona de Punta Banda con relación a surgencia.

Para lo anterior se eligió el mes de diciembre como época en la cual no se esperaba que ocurriera surgencia, y marzo y mayo como épocas de surgencia.

El 18 de diciembre (Fig. 4a-9a) la distribución de los parámetros estudiados fue más o menos estratificada, por lo que no se presentaron condiciones de surgencia.

El 16 de marzo, todos los parámetros mostraron isolíneas ascendiendo hacia la costa, por arriba de los 90 m en Punta Banda (Fig. 4b-9b), y por arriba de los 40 m en Isla Sur (Fig. 4c-9c). Se cree que el efecto de surgencia fue menor en Isla Sur que en Punta Banda debido a que Isla Sur presenta menor frontera al este que Punta Banda. En Punta Banda, las isolíneas de temperatura, salinidad, densidad, oxígeno y nitratos (a excepción del oxígeno en mayo), descendieron hacia la costa por debajo de 100 m, indicando la presencia de una subcorriente hacia los polos, característica de surgencia, tratada en ciertos estudios teóricos. La distribución de oxígeno presentó un máximo a 3 millas náuticas de la costa, sugiriendo una mayor concentración de fitoplancton alrededor de esa zona.

La deducción del orden de magnitud de las velocidades ascendente y ho-

rizontal hacia afuera de la costa se basó en transportes a partir del desplazamiento de la isopícnica $\sigma_t = 25.70$ y transportes de Ekman a partir de datos de vientos obtenidos de cartas meteorológicas. Esto se llevó a cabo sólo para el muestreo de marzo. Por desplazamiento de la isopícnica la velocidad ascendente fue del orden de 2.1×10^{-4} cm seg⁻¹ y la velocidad horizontal hacia afuera de la costa fue de 8.7×10^{-2} cm seg⁻¹. Por transportes de Ekman, las velocidades fueron del orden de 2.1×10^{-2} cm seg⁻¹ para la velocidad ascendente y 8.7 cm seg⁻¹ para la velocidad horizontal hacia afuera de la costa. La diferencia encontrada entre uno y otro método fue del orden de 10^2 debido al gran incremento de tiempo entre los muestreos para el caso del desplazamiento de la isopícnica $\sigma_t = 25.70$, ya que se utilizó el desplazamiento entre diciembre y marzo.

El transporte de Ekman calculado a partir de datos de cartas meteorológicas para el muestreo de marzo, representa un índice de surgencia mayor al calculado por Bakun y Nelson (1975), para latitudes cercanas a 32°N en áreas adyacentes a Baja California para la misma época. Esto es debido a que el cálculo de Bakun y Nelson fue para una escala mucho mayor a la tratada en este estudio, y a partir de medias mensuales, pero los valores calculados son cercanos.

INTRODUCCION

Surgencias

El fenómeno de las surgencias es caracterizado por un desplazamiento del agua superficial hacia mar adentro que es reemplazada por aguas sub_uperficiales más frías y densas. Dicho fenómeno es ocasionado por vientos dominantes del NW para la costa occidental de Baja California. Es de gran importancia, además de lo interesante de tal fenómeno físico, ya que provee a la zona eufótica de gran cantidad de nutrientes que por medio de la fotosíntesis son aprovechados por el fitoplancton y después de una corta cadena alimenticia por el hombre.

Reid (1967) identifica a las surgencias como una consecuencia de la circulación oceánica inducida por el viento, en las cuales, áreas de divergencia y convergencia dan por resultado un movimiento vertical. Las considera también, a gran escala, una consecuencia de la circulación termohalina: la formación y el hundimiento masivo de las aguas profundas y de fondo, deberá ser balanceada por la ascensión de aguas en otras áreas.

Se han reconocido cinco clases de surgencias inducidas por el viento (Reid, 1967):

- (1) los efectos de corto período extremadamente locales, asociados con topografías costeras complejas y no necesariamente dependientes de la aceleración de Coriolis; un ejemplo de este tipo sería la zona SE de Punta Banda, donde Hubbs (1960) ha observado en estaciones a sólo dos millas de separación (a través de la base de la punta), temperaturas superficiales que difieren tanto como 12°C, y comúnmente de

3 a 9°C.

(2) Surgencias costeras resultantes de vientos que soplan paralelos a la costa, cuando el sentido de la aceleración de Coriolis es hacia afuera de la costa (Fig. 1); un ejemplo serían las surgencias adyacentes a Baja California.

(3) Surgencias oceánicas resultantes de variaciones en la intensidad del esfuerzo del viento; el ejemplo más extenso se observa en el área de los vientos Oestes del Hemisferio Sur.

(4) Divergencia ecuatorial causada por vientos Estes en el Ecuador.

(5) Movimiento vertical resultante de movimiento ciclónico del flujo inducido por el viento cuasi-geostroficamente balanceado.

Reid (1967) menciona que Stommel (1957), ha explorado las teorías de corrientes oceánicas y ha demostrado que dentro de los grandes giros anticiclónicos inducidos por el viento, (los cuales están centrados aproximadamente en los Trópicos en cada océano) se producen divergencias y convergencias del agua superficial. Dentro de los giros ciclónicos (que se encuentran hacia los polos con respecto a los giros anticiclónicos), las aguas superficiales divergen y se produce una surgencia desde las aguas más profundas hacia la superficie.

Las características de las aguas profundas también pueden ser transportadas hacia la capa de mezcla sin un transporte ascendente neto de agua, ésto puede ser afectado por difusión vertical de calor, sal, etc., a través

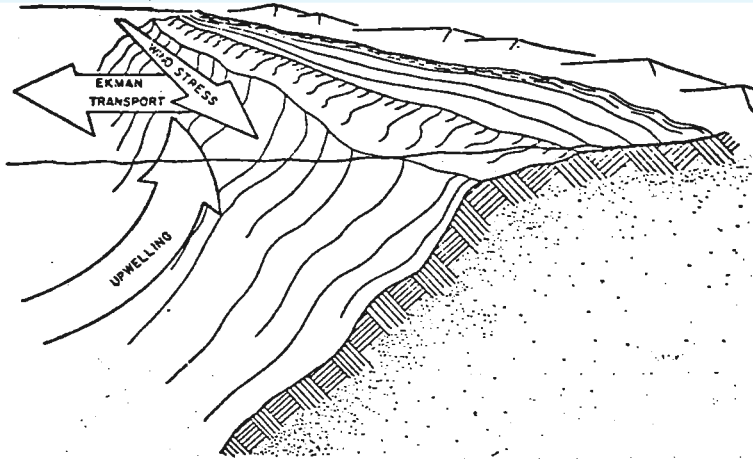


Fig. 1.- Diagrama conceptual del proceso de surgencia costera. La costa del continente está representada en una vista de corte con el océano a la izquierda de la figura. El transporte hacia afuera de la costa en la capa de Ekman superficial debido al esfuerzo de viento paralelo a la costa en la superficie del mar, es reemplazado por surgencia desde lo profundo. (Tomada de Bakun, 1975).

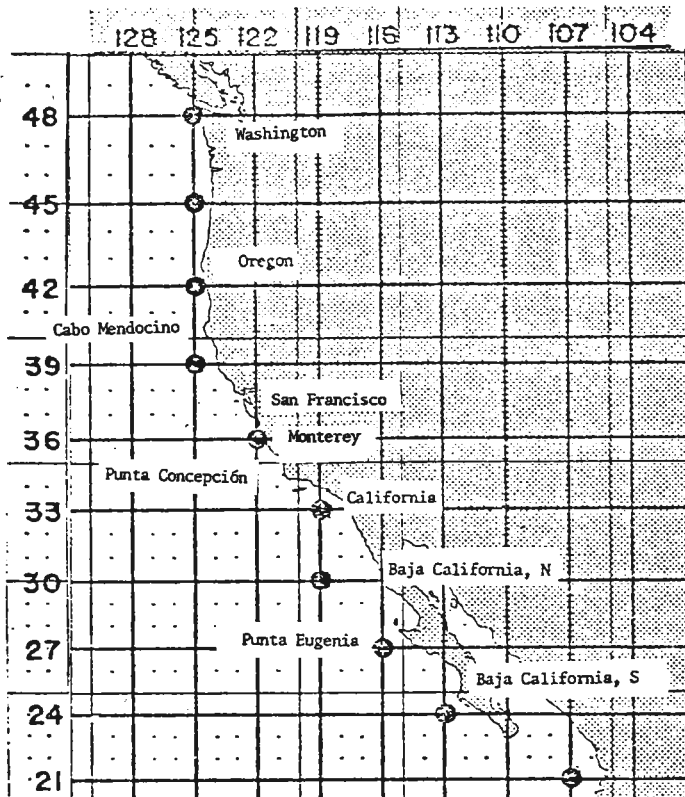


Fig. 2.- Costa occidental de E.U.A. y Baja California, México.

de la pycnoclina o por un hundimiento de la capa de mezcla debido a agitación eólica o a inversión convectiva. No es siempre posible distinguir si un cambio en las propiedades de la capa de mezcla ha resultado principalmente de surgencias. Generalmente se designa por surgencia a efectos globales de la capa de mezcla, pero una evidencia de surgencia menos marcada, debería de acompañarse por algún cálculo independiente que indique divergencia superficial antes de utilizar ese término (Reid, 1967).

Según Smith (1968), una apreciación del resultado de Ekman (1905), llevó a la primera explicación física satisfactoria para surgencias. Uno de los casos que trata Ekman en dicha investigación es el de las corrientes causadas por el viento y la rotación terrestre únicamente. Ese caso sirve para ejemplificar el efecto del viento en la formación de surgencias, y se describe en el apéndice I de este trabajo.

Antecedentes

Las expediciones en las que se han estudiado las surgencias son comparativamente recientes, la del "Meteor" durante los años treinta, fué la primera en la que se obtuvieron resultados sobre el significado físico y biológico de las surgencias, lográndose una descripción a fondo de la escala del fenómeno (Cushing, 1971). A partir de entonces, se les ha estudiado tanto en el campo físico como en el químico y biológico (como: Sverdrup (1937), Smith (1968), Mc Nider y O'Brien (1973); Park et al. (1962); Cushing (1971), Simpson y Griffiths (1971).

Desde 1972 se ha venido desarrollando un proyecto denominado Programa de Análisis de Ecosistemas de Surgencias Costeras (CJEA) auspiciado por la Década Internacional de Exploración Oceánica (de NSF), cuyo objetivo primor-

dial de investigación es el desarrollar modelos simulados de ecosistemas de surgencias costeras tales que la respuesta de estos sistemas, ya sea a perturbación o manejo pueda ser predecible a partir del conocimiento de algunos parámetros biológicos, oceanográficos y meteorológicos. El desarrollo de estos modelos requiere de un aumento en la comprensión de las dinámicas físicas, químicas y biológicas esenciales de surgencias costeras y sus relaciones. A partir de iteraciones sucesivas entre observaciones de campo y estudios teóricos, el programa CUEA desarrollará una serie de submodelos dirigidos hacia la integración de un sistema modelo total de ecosistemas de surgencias costeras (CUEA News Letter, Jan. 1973).

La región de surgencias de la Corriente de California (Fig. 2), que se extiende desde aguas adyacentes a Baja California hasta el estado de Washington, E.U.A., es la más conocida (Cushing, 1971). Durante la primavera y verano, hay un sistema de alta presión sobre el Pacífico, al oeste de California, y un sistema de baja presión sobre el norte de Nuevo México, Nevada y el sur de California en el suroeste de los Estados Unidos, de manera que el viento sopla entre ellos con dirección NE, N o NW y hay localmente vientos muy fuertes al sur de Punta Concepción (Cushing, 1971). El sistema de alta presión se intensifica durante la primavera y verano desde Baja California (Reid et al., 1958) y se mueve hacia el N hasta Oregon, de manera que la surgencia se desplaza hacia el N con la estación. Aunque, un análisis mensual detallado de la distribución estacional llevado a cabo para los años de 1949-52, por el Departamento de Caza y Pesca de California en 1953, para trece posiciones entre Cabo Blanco en California del Norte y Punta San Juanica al sur de Baja California, mostró (Cushing, 1971) que en 1949, las

surgencias se presentaban a lo largo de toda la costa durante marzo a abril y septiembre; en 1951 el fenómeno se restringía a la primera mitad del año con un ligero cambio hacia el norte. En 1951, las surgencias fueron menos intensas, con una ligera estación de primavera y algo en octubre a diciembre entre Punta Concepción y la parte norte de Baja California. Esta surgencia de invierno estuvo probablemente conectada con la intensa y extensa surgencia en la primavera siguiente, en 1952 (Cushing, 1971). Estos datos ilustran la variabilidad de las surgencias en tiempo y espacio y la desviación estacional hacia el norte apenas se detectó. Cushing (1971), menciona que Smith et al. (1966) observaron que para el área adyacente a Oregon y Washington, las surgencias se presentan en julio y agosto y siguen hasta que los vientos cambian a dirección W, cuando los centros de baja presión de las Aleutianas se intensifican a través del Pacífico Norte.

Durante septiembre de 1952, el Departamento de Caza y Pesca de California, construyó una gráfica de surgencias en California en términos de velocidad ascendente (Cushing, 1971), en la que las surgencias se extendían desde Monterey, un poco al sur de San Francisco, hasta Ensenada, Baja California, y se presentó una mancha adyacente a Isla de Cedros al norte de Punta Eugenia y adyacente a la punta misma. En las cercanías de el sur de California, se concentraban al sur de Monterey, sur de Punta Concepción y cerca de San Diego. En estas áreas y en la adyacente a Punta Eugenia, la velocidad ascendente era tan alta como 60.6 m/mes (2.3×10^{-3} cm seg⁻¹). Hay cambios a largo período en los patrones de surgencias, como debería de esperarse de los cambios en velocidad y dirección de viento sobre períodos de mucho tiempo. Antes de 1949, las surgencias pudieron haberse limitado al área en-

tre Cabo Blanco al sur de Oregon y Cabo Mendocino, y sur de Monterey. Después de 1949, el área se extendió adicionalmente hasta Punta Eugenia (Cushing, 1971).

En mayo de 1971, se llevó a cabo un estudio desde Isla Todos Santos hasta Roca Soledad, área adyacente a Ensenada, Baja California, encontrándose que la surgencia se presentaba más fuertemente en aguas adyacentes a Punta Banda, B. C. (Cota, 1971). En esa ocasión, los indicadores que se utilizaron fueron oxígeno, alcalinidad, y grado de saturación respecto de la calcita y aragonita.

Efectos producidos por surgencias en la distribución de fitoplancton, para ilustrar la importancia biológica de surgencias.

Los organismos que son incapaces de mantener su distribución contra el movimiento de masas de agua, son denominados "plancton". Incluidos en este grupo están el bacterioplancton (bacterias), fitoplancton (plantas) y zooplancton (animales). Generalmente todo el plancton es muy pequeño y en algunos casos microscópico. Sin embargo, también se incluye dentro de la distribución de plancton a animales relativamente grandes como las medusas. Algunos miembros del plancton, incluyendo plantas y animales son móviles, pero su movilidad es débil comparada con los movimientos dominantes del agua. Animales, tales como peces, los cuales pueden mantener su posición y moverse contra corrientes locales, se conocen como "necton". Sin embargo, la división entre plancton y necton no es precisa y algunos peces pequeños, especialmente larvas de peces, pueden ser una parte de la comunidad planctónica (Parsons y Takahashi, 1973).

Los cambios temporales dentro de la comunidad planctónica en sí, están

grandemente determinados por el crecimiento, mortalidad, hundimiento y razón de migración de los individuos planctónicos y sus predadores. Sin embargo, los cambios temporales observados dentro de una comunidad planctónica pueden variar dependiendo en la frecuencia de las observaciones de un investigador (Parsons y Takahashi, 1973). Las variaciones temporales a gran escala, están asociadas con ciclos estacionales en ambientes oceánicos y neríticos. Generalmente pueden reconocerse 4 ciclos estacionales diferentes en ambientes oceánicos, basados en cambios en biomasa de fitoplancton y zooplancton (Parsons y Takahashi, 1973).

Un tipo de ciclo estacional se encuentra en los trópicos. Parsons y Takahashi (1973), indican que de acuerdo a Sournia (1969) y Blackburn et al. (1970), hay muy poca evidencia para máximos y mínimos predominantes asociados con eventos estacionales. Indican también, que según Blackburn et al. (1970), puede ocurrir una sucesión de pequeños incrementos y decrementos en biomasa de fitoplancton y zooplancton a través de todo el año, y éstos están grandemente determinados por condiciones climatológicas locales y el movimiento de masas de agua. Por lo que cuando ocurre una condición de surgencia tal como en el Pacífico, aproximadamente en el Ecuador, puede observarse una biomasa de plancton relativamente alta, la cual está fuertemente determinada por la localización exacta de la contracorriente ecuatorial.

La distribución de plancton bajo condiciones de movimientos de agua es en parte una respuesta pasiva, por lo que según Stommel (1949), las partículas que tienden a flotar se reunirán en una frontera donde haya convergencia que de por resultado un hundimiento de agua. Contrariamente, las partículas que tiendan a hundirse se acumularán en una divergencia donde hay surgencia

(de Parsons y Takahashi, 1973).

Según Wooster y Reid (1963), una de las áreas principales en las que se lleva a cabo un intercambio entre aguas profundas y las cercanas a la superficie, son las de corrientes con frontera al este. Lo anterior se refleja en la alta productividad biológica de las aguas de las corrientes de California, Perú y Benguela.

Ryther (1971) asigna a la provincia de surgencias, una cadena alimenticia de un paso y medio en comparación de 5 pasos para la provincia oceánica y 3 a la provincia costera que es considerada muy productiva. Por lo que considera que es en las zonas de surgencia del mundo donde las cadenas alimenticias son más cortas, o para decirlo de otra forma, en donde los organismos son lo suficientemente grandes como para ser directamente utilizables por el hombre desde niveles tróficos muy cercanos a los productores primarios, lo que adjudica al gran tamaño del fitoplancton, pero además, al hecho de que muchas de las especies son de hábitos coloniales, formando grandes masas gelatinosas o largos filamentos. Y dicho agregado de material vegetal puede ser inmediatamente aprovechado por peces grandes sin necesidad de adaptaciones alimentadoras especiales. Sin embargo, muchos de los peces clupeoides (sardina, anchoveta, etc.) que se encuentran más abundantemente en áreas de surgencias y que forman el componente más grande de las capturas comerciales del mundo, sí tienen agallas modificadas para separar del agua las especies más grandes del fitoplancton (Ryther, 1971). Parece no haber duda de que muchos de los peces endémicos de las regiones de surgencias son herbívoros directos por lo menos durante la mayor parte de su vida (Ryther, 1971). Por lo que las zonas de surgencias representan un ahor

ro de niveles tróficos en la cadena alimenticia de la que el hombre obtiene sus alimentos marinos. Parsons y Takahashi (1973) mencionan el hecho de que la descripción dada por Ryther sobre las cadenas alimenticias puede estar abierta a ciertas críticas en lo referente a detalles en sus cálculos, pero el acercamiento general es ilustrativo de la importancia de relaciones tróficas al declarar sobre la productividad del océano.

Laurs (1967), en un estudio llevado a cabo en aguas adyacentes al sur de la costa de Oregon, encontró que la concentración de productores primarios (nivel trófico I) estimada a partir de concentraciones de clorofila, fue mayor cerca de la costa durante surgencia activa y fuera de la costa a finales de invierno y en primavera. La biomasa media de herbívoros (nivel trófico II) y carnívoros (nivel trófico III), estimada a partir de pesos secos, fue mayor en el otoño después de que la surgencia había cesado. Las mayores biomásas del nivel trófico III tendieron a encontrarse sucesivamente mar adentro, a medida que la estación de surgencia progresaba. Las biomásas de fitoplancton, herbívoros y carnívoros primarios, fueron considerablemente mayores cerca de la costa que fuera de ella. Las fluctuaciones estacionales fueron grandes y en algunas ocasiones se observaron relaciones inversas entre niveles tróficos cerca de la costa. Además, se observaron amplitudes menores en biomásas de fitoplancton, herbívoros y carnívoros primarios hacia afuera de la costa, indicando que la cadena alimenticia hacia afuera de la costa tiende a estar más "balanceada" que aquella encontrada cerca de la costa.

MUESTREO Y METODOS

La zona de Punta Banda se localiza a $31^{\circ}45'N$ y $116^{\circ}45'W$. Para este estudio, se trazaron dos transectos casi perpendiculares a la costa con una distancia de 3 millas náuticas entre ellos (Fig. 3). Cada transecto tiene 4 estaciones a 1, 3, 6 y 10 millas náuticas de la costa con Punta Banda y la Isla Sur de Todos Santos. La razón por la que se tomaron las distancias en millas náuticas fue para facilitar la navegación y localización de las estaciones. (1 milla náutica = 1' de círculo mayor).

Los muestreos se llevaron a cabo el 18 de diciembre de 1973, 16 de marzo y 29 de mayo de 1974, con hidrolances a 0, 10, 25, 40, 70, 100 y 130 m para las botellas Nansen y 140 m para el batitermógrafo. Para el primer y último muestreo sólo se utilizaron las estaciones del transecto de Punta Banda.

Durante el crucero de mayo y otros dos en los que sólo se llevaron a cabo mediciones de temperatura superficial, con el objeto de una posible detección de surgencia, se utilizó un termógrafo en su fase experimental diseñado en el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), que comparadas sus lecturas con las del termómetro de cu beta, presentó una variación de $0.2^{\circ}C$.

Para la determinación de temperaturas se utilizaron los termómetros protegidos de las botellas Nansen (precisión $\pm 0.02^{\circ}C$) y para una mejor apreciación de la termoclina se utilizó el batitermógrafo.

Las muestras de salinidad se analizaron con un salinómetro de inducción (Kahlsico, Modelo No. 118WA200, precisión $\pm 0.003\%$).

El oxígeno se determinó por el método Winkler (Strickland y Parsons,

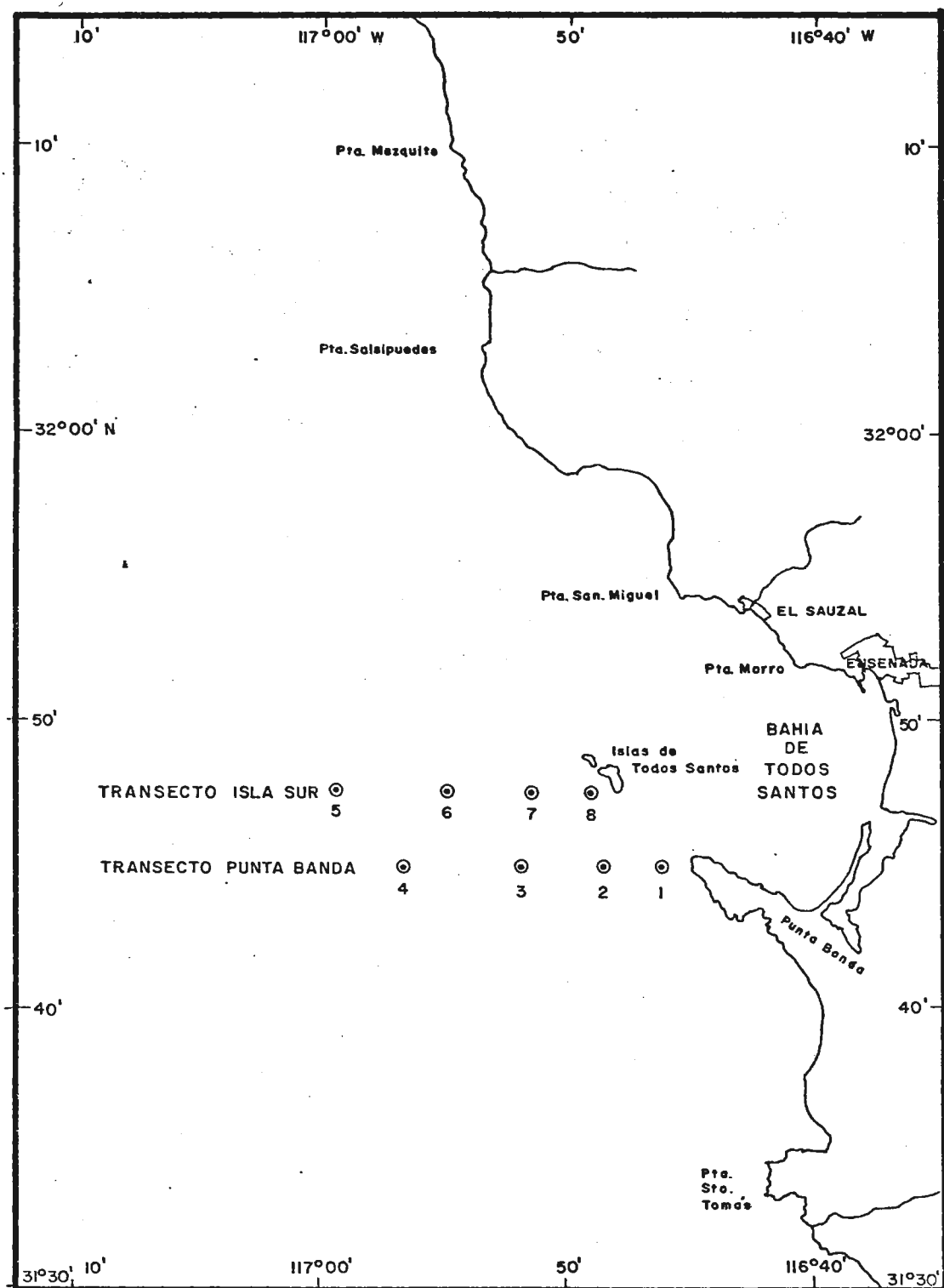


FIG. 3 LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES MUESTREADAS

1965) y para el crucero de mayo se analizó por el método Winkler modificado de Carpenter (Marine Technician's Handbook, 1971). El Quím. Anderson opina que no habrá variaciones en los valores obtenidos en ambos métodos.

Se calculó porcentaje de saturación de oxígeno utilizando el nomograma de Carpenter para oxígeno.

El análisis de contenido de nitratos se basó en una modificación del método descrito por Strickland y Parsons (1965). Dicha modificación se llevó a cabo por personal de la Institución de Oceanografía Scripps, y la secuencia del método se describe en el apéndice II.

Los análisis de temperatura y salinidad se realizaron en el CICESE y los de oxígeno y nitratos en la Unidad de Ciencias Marinas de la U.A.B.C.

Hubo ocasiones en que la botella Nansen subió vacía y otras en las que los termómetros de dichas botellas no funcionaron correctamente. Por falta de tiempo suficiente, ya que la embarcación es muy lenta y no se contó con personal disponible para mayores horas de trabajo, se avanzaba a la siguiente estación una vez recuperado el hidrolance lo cual no permitía un segundo lance, por lo que en ocasiones no se tienen todos los valores para la parte de la columna muestreada.

RESULTADOS

Para los muestreos efectuados el 18 de diciembre de 1973, 16 de marzo y 29 de mayo de 1974, la distribución de los parámetros estudiados en el área de Punta Banda, fue de la siguiente manera:

Temperatura

Para el 18 de diciembre (Fig. 4a) la distribución de temperatura varió de 14°C en la superficie, a 10°C de 120 a 130m de profundidad, no se encontró una capa de mezcla bien definida en la superficie, sólo puede observarse una región de 32m más o menos homogénea ($\Delta T = 0.5^\circ\text{C}$) a 6 millas náuticas de la costa. La termoclina no estuvo definida en esa zona. Los gradientes más fuertes se encontraron por arriba de los 50m de profundidad, con un gradiente vertical de 1.5°C en 12m a 5.5 millas náuticas de la costa. Las isotermas presentaron un ligero ascenso en la superficie cerca de la costa.

El 16 de marzo (Fig. 4b) en Punta Banda, la temperatura varió de 14°C en la superficie, a 9.5°C de 100 a 130 m. La isolínea de 14°C se localizó casi en la misma posición que en diciembre, pero la de 13.5°C se localizó 20 m más profunda a 6 millas náuticas de la costa, desde donde empezó a ascender junto con el resto de las isolíneas desde 87 m de profundidad, siendo menos pronunciado el ascenso de las isolíneas más cercanas a dicha profundidad. La isolínea de 9.5°C desciende hacia la costa desde 10 millas náuticas de 100 a 130 m de profundidad. En Isla Sur (Fig. 4c) la temperatura varió de 14°C en la superficie a 9.5°C de 100 a 130 m. El ascenso de

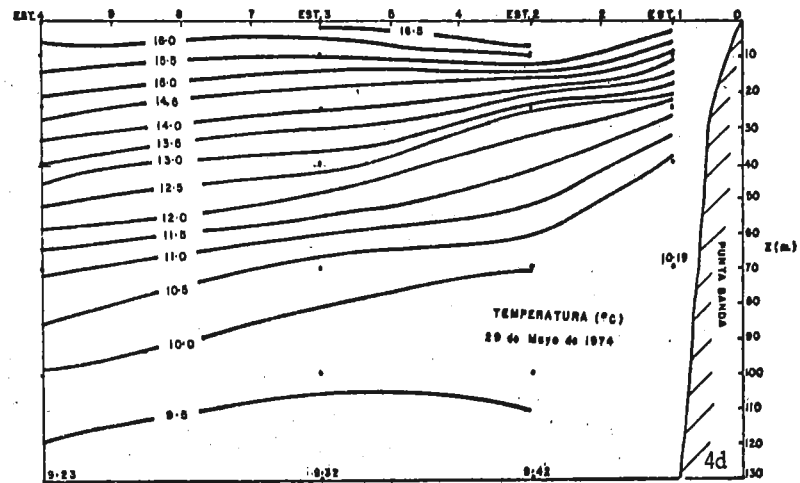
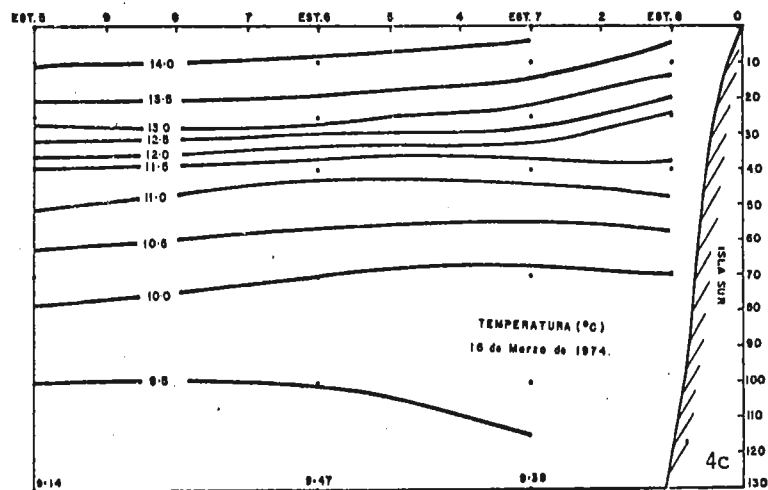
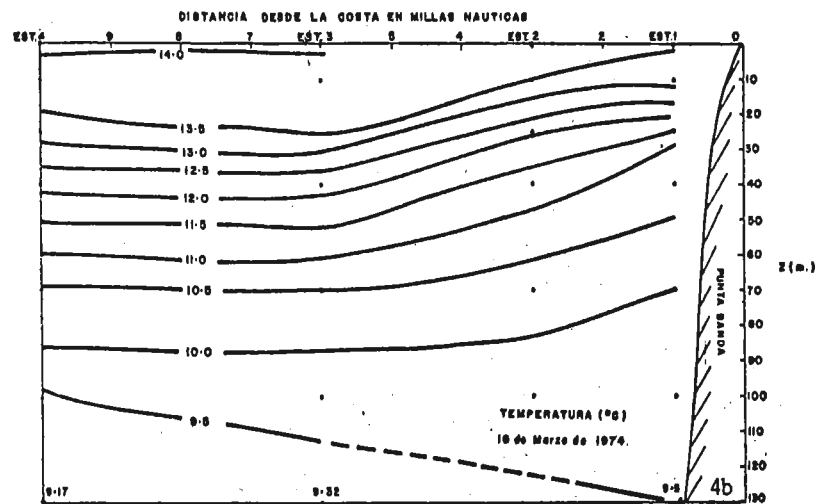
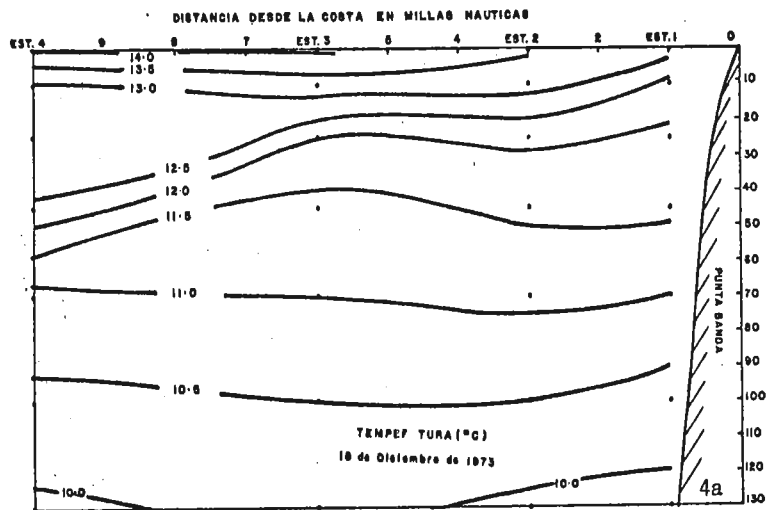


Fig. 4.- Distribución vertical de temperatura (°C) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de Diciembre; b) Punta Banda, 16 de Marzo; c) Isla Sur, 16 de Marzo; d) Punta Banda, 29 de Mayo.

las isolíneas sólo se observa a 3.5 millas náuticas de la costa y desde 32 m, con la isoterma de 9.5°C también descendiendo hacia la costa, pero sólo desde 6 millas náuticas.

La distribución de temperatura para el 29 de mayo (Fig. 4d) varió de 16.5°C en la superficie a 9.5°C de 100 a 130 m, con las isotermas mostrando leve ascenso hacia la costa. A 1 milla náutica de la costa, presenta un fuerte gradiente vertical de 3.5°C en 20 m, intensificándose a 3 millas náuticas de la costa, a 3.5°C en 15 m.

Salinidad

La distribución para el 18 de diciembre (Fig. 5a) varió de 33.54 ‰ en la superficie, a 33.92 ‰ a 130 m, fue más o menos estratificada, con las isolíneas descendiendo levemente hacia la costa y una capa uniforme de casi 20 m a 1 milla náutica de la costa.

El 16 de marzo en Punta Banda (Fig. 5b) la salinidad varió de 33.48 ‰ en la superficie, a 34.00 ‰ a 130 m. Las isohalinas muestran un marcado ascenso hacia la costa desde 6 millas náuticas a 50 m de profundidad, y menos marcado de 50 a 100 m. Las isohalinas descienden hacia la costa por debajo de 100 m y se observa una zona muy homogénea hacia afuera de la costa por arriba de los 50 m. La distribución para Isla Sur (Fig. 5c) varió de 33.52 ‰ en la superficie, a 34.00 ‰ a 130 m, fue muy similar a la de Punta Banda, sólo que el ascenso de isohalinas es menos marcado.

El 29 de mayo (Fig. 5d) la salinidad varió de 33.56 ‰ en la superficie, a 33.92 ‰ desde 60 m a una milla náutica de la costa, hasta 100-130 m entre 3 y 10 millas náuticas de la costa. La distribución superficial de sa-

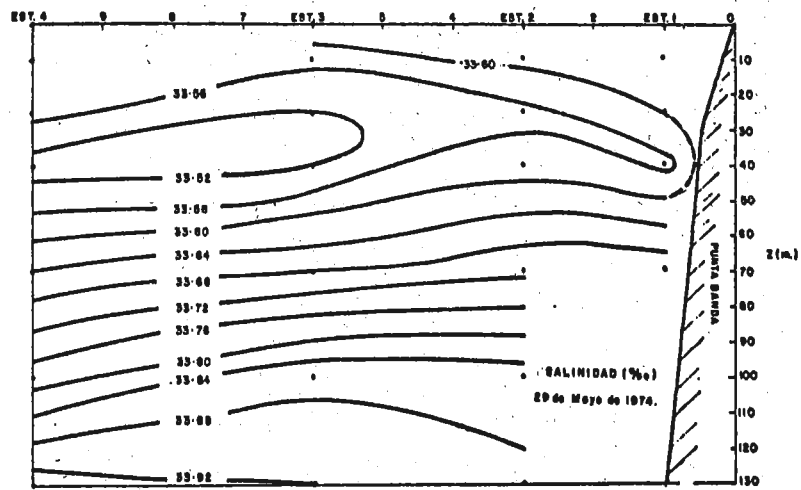
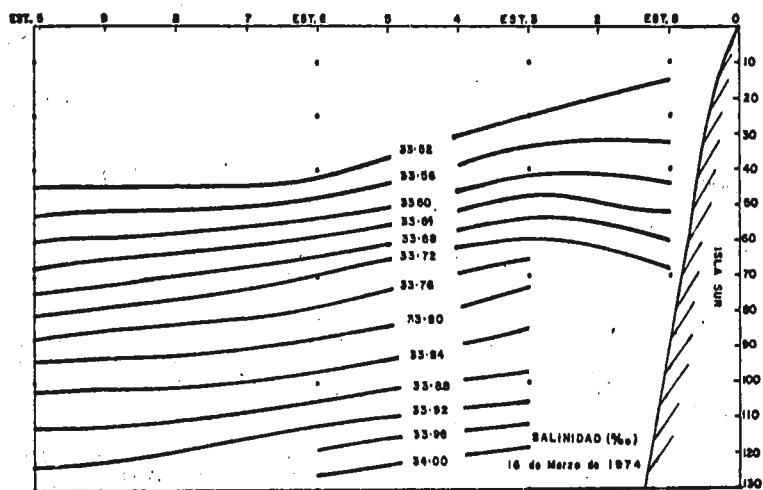
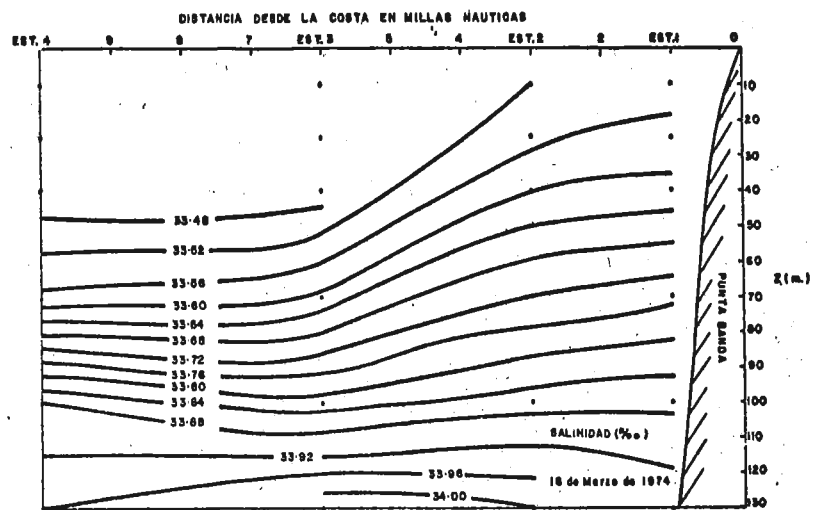
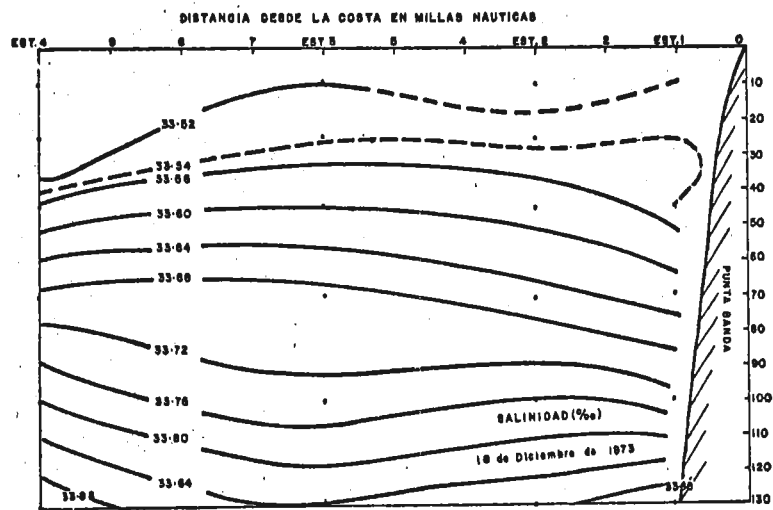


Fig. 5.- Distribución vertical de salinidad (‰) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de Diciembre; b) Punta Banda, 16 de Marzo; c) Isla Sur, 16 de Marzo; d) Punta Banda, 29 de Mayo.

linidad presentó forma de lenguetas hasta los 50 m acompañada de una inversión de salinidad. La distribución por debajo de los 50 m fue más o menos estratificada.

Densidad

El 18 de diciembre (Fig. 6a) la densidad varió de 25.30 en la superficie, a 26.10 a 130 m. Las isopicnas muestran una distribución similar a la de temperatura, con un leve ascenso hacia la costa de la isopicna de $\sigma_t = 25.50$.

El 16 de marzo en Punta Banda (Fig. 6b) la densidad varió de 25.10 en la superficie, a 26.30 a 130 m. Las isopicnas muestran un ascenso hacia la costa desde 6 millas náuticas y 85 m de profundidad. La pycnoclina no es muy marcada, pero las isopicnas indican un mayor gradiente vertical a 3 millas náuticas de la costa. La isopicna de $\sigma_t = 26.30$ muestra descenso hacia la costa sugerido por el valor de σ_t a 130 m en la estación 1. En Isla Sur la densidad varió de 25.10 en la superficie, a 26.30 de 120-130 m de profundidad, entre 3 y 10 millas náuticas de la costa (Fig. 6c). El ascenso de isopicnas en Isla Sur fue menos marcado que en Punta Banda, pero similar.

El 29 de mayo (Fig. 6d) la densidad varió de 24.70 en la superficie, a 26.10 a 130 m. Se observa un fuerte gradiente vertical de densidad de 0.8 (σ_t) en 22 m, con isopicnas ascendiendo hacia la costa entre 1 y 3 millas náuticas, en comparación con diciembre que fue de 0.2 (σ_t) en 22 m (Fig. 6a).

Oxígeno

La distribución de oxígeno para el 18 de diciembre (Fig. 7a) varió de

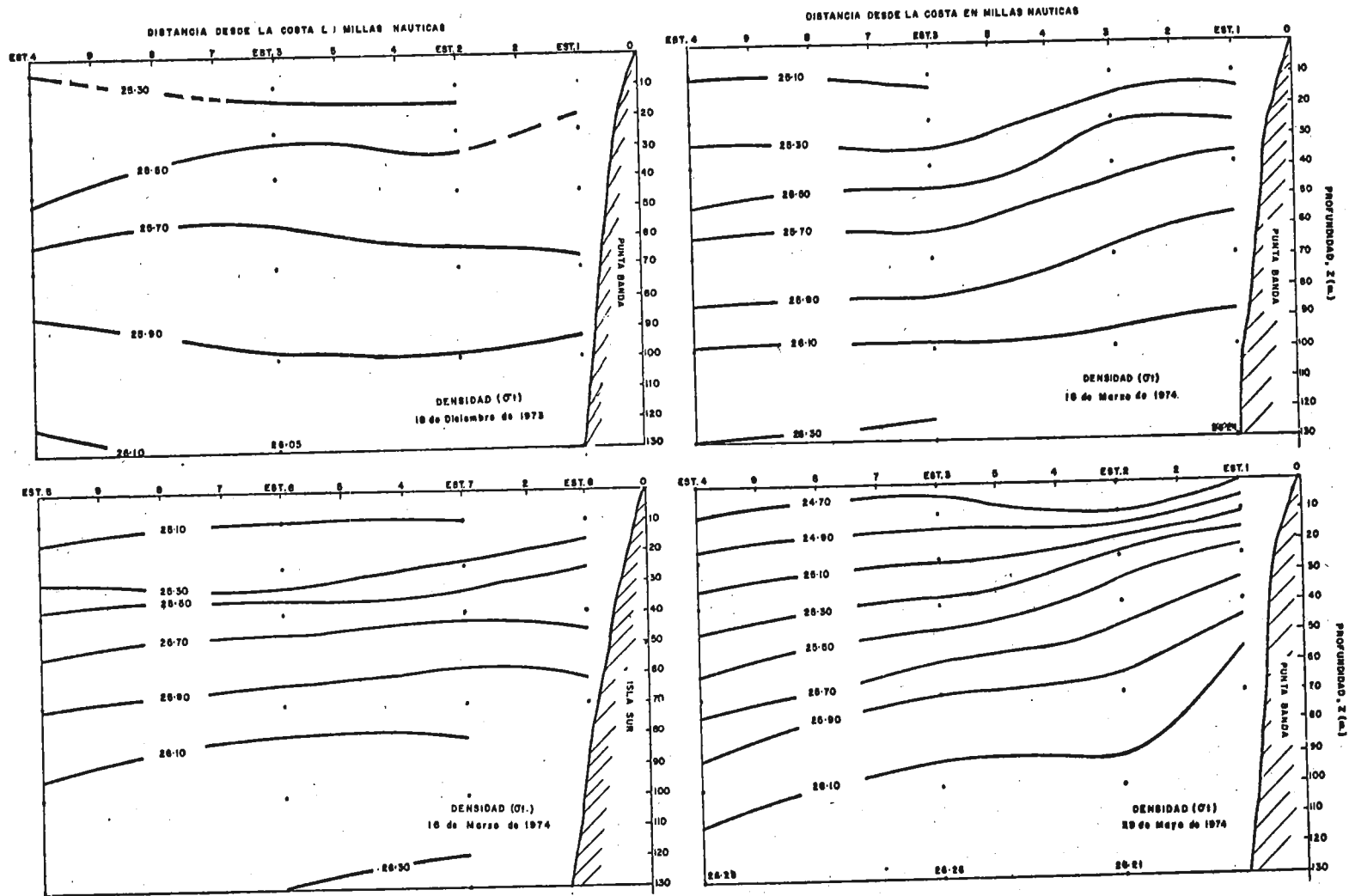


Fig. 6.- Distribución vertical de densidad (σ_t) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de Diciembre; b) Punta Banda, 16 de Marzo; c) Isla Sur, 16 de Marzo; d) Punta Banda, 29 de Mayo.

de 6.5 ml/l en la superficie, a 4.0 ml/l de 90 a 130 m. La distribución superficial fue más o menos estratificada, con un gradiente vertical de 1.0 ml/l en 10 m a 6 millas náuticas de la costa. Por debajo de 130 m, se nota un mínimo de 4.0 ml/l indicado por el valor de la estación 3 a 130 m.

El 16 de marzo en Punta Banda (Fig. 7b) el oxígeno varió de 6.5 ml/l en la superficie, a 3.5 ml/l de 115-130 m. Las isolíneas de oxígeno muestran un ascenso hacia la costa desde 6 millas náuticas a 75 m de profundidad, con un máximo a 3 millas náuticas de la costa. Por debajo de 100 m, las isolíneas descienden hacia la costa. En Isla Sur (Fig. 7c) el oxígeno varió de 7.0 ml/l en la superficie, a 3.5 ml/l de 90-130 m de profundidad, entre 3 y 10 millas náuticas de la costa. La distribución es muy similar a la de Punta Banda, mostrando además, un máximo a 10 millas náuticas de la costa.

El 29 de mayo (Fig. 7d) la distribución de oxígeno varió de 6.0 ml/l en la superficie, a 3.5 ml/l desde 75 m a 1 milla náutica de la costa, a 100-130 m entre 3 y 10 millas náuticas de la costa. Mostró isolíneas ascendiendo hacia la costa desde 10 millas náuticas, con un máximo a 3 millas náuticas de la costa y un fuerte gradiente vertical de 2.0 ml/l en 21 m, a 1 milla náutica de la costa. Puede observarse además, una inversión a 6 millas náuticas de la costa, que sugiere consumo de oxígeno por parte de miembros de los niveles tróficos siguientes al fitoplancton.

Las distribuciones de % de saturación de oxígeno se muestran en la Fig. 8. En diciembre se encontró una capa superficial de sobresaturación de oxígeno, con el % de saturación variando de 110 en la superficie, a 60 por debajo de 90 m.

El porcentaje de saturación de oxígeno (Fig. 8b y 8c) en Punta Banda

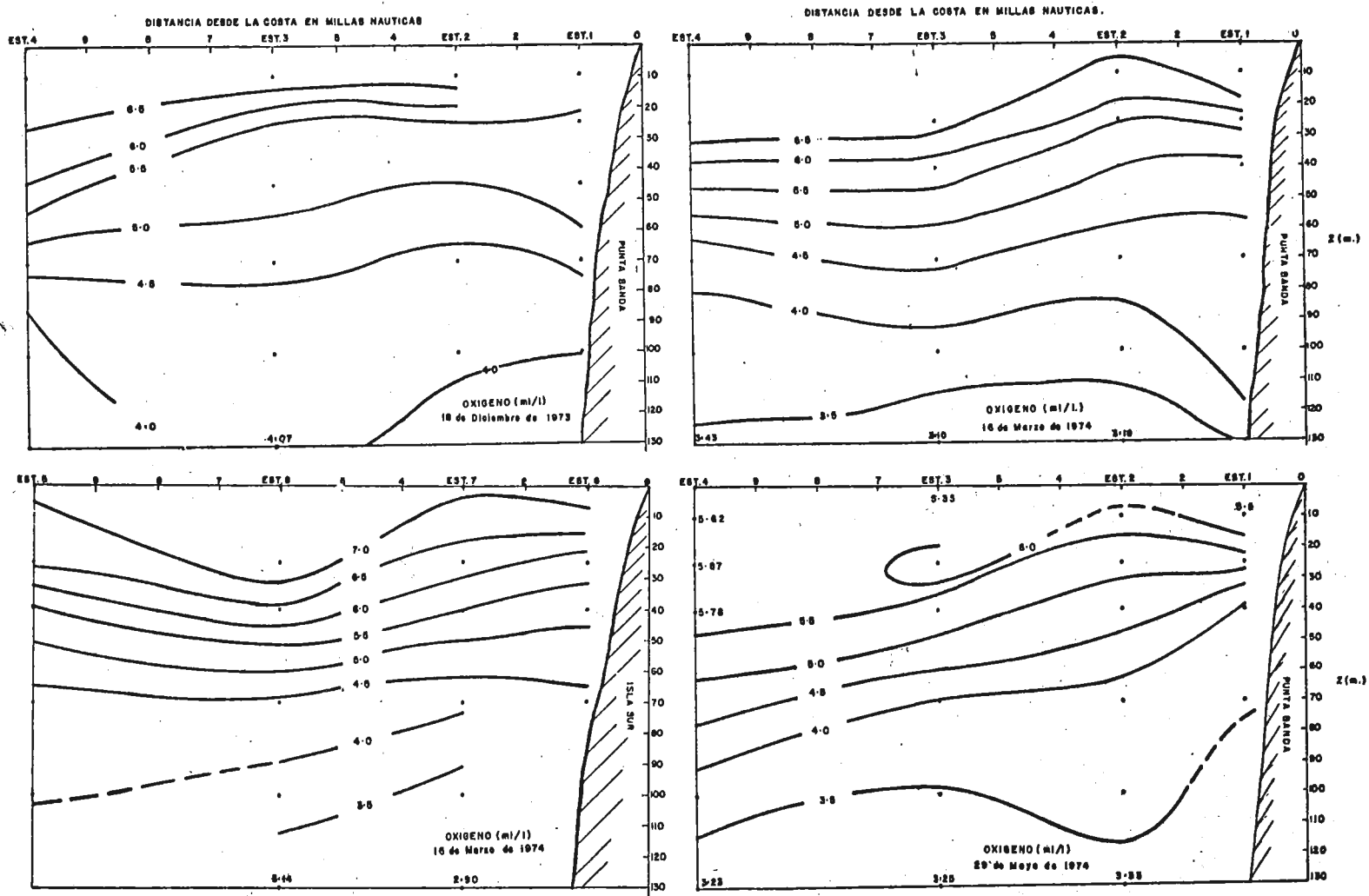


Fig. 7.- Distribución vertical de oxígeno (ml/l) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de Diciembre; b) Punta Banda, 16 de Marzo; c) Isla Sur, 16 de Marzo; d) Punta Banda, 29 de Mayo.

e Isla Sur (Fig. 3), el 16 de marzo, varió de 110 en la superficie a 50 por debajo de los 100 m, presentando un gradiente vertical mayor que en diciembre en toda la capa muestreada.

El 29 de mayo (Fig. 8d), el valor de 110% estuvo restringido a una pequeña sección cerca de la costa, en cambio el de 50%, apenas se muestra por encima de 130 m a 10 millas náuticas de la costa.

La distribución de % de saturación de oxígeno fue muy similar a la del oxígeno en los tres muestreos. Una leve diferencia fue que al máximo de oxígeno de la estación 7 (Fig. 7c) para el 16 de marzo en el transecto Isla Sur, le correspondieron valores de % de saturación de oxígeno menos tendientes hacia un máximo (Fig. 8c).

Nitratos

El 18 de diciembre (Fig. 9a), la distribución de nitratos varió de $4\mu\text{M}$ en la superficie, a $18\mu\text{M}$ a 130 m, fue muy estratificada por arriba de los 95 m, con una capa de concentración máxima de $20\mu\text{M}$ entre 95 y 115 m en toda la columna muestreada.

El 16 de marzo en Punta Banda (Fig. 9b) la distribución de nitratos varió de $2\mu\text{M}$ en la superficie, a $22\mu\text{M}$ a 130 m. Las isolíneas de nitratos muestran un ascenso hacia costa, desde 6 millas náuticas, y un gradiente vertical de $10\mu\text{M}$ en 15 m, a 10 millas náuticas de la costa. El rango encontrado fue mayor en marzo (Fig. 9b) que en diciembre (Fig. 9a), pero en la superficie, los valores fueron menores en marzo que en diciembre. En Isla Sur (Fig. 9c) la concentración de nitratos varió de $2\mu\text{M}$ en la superficie, a $20\mu\text{M}$ de 90-130 m, la distribución fue más estratificada a 10 millas náuticas de la costa que en Punta Banda (Fig. 9b) y el ascenso de isolíneas hacia la

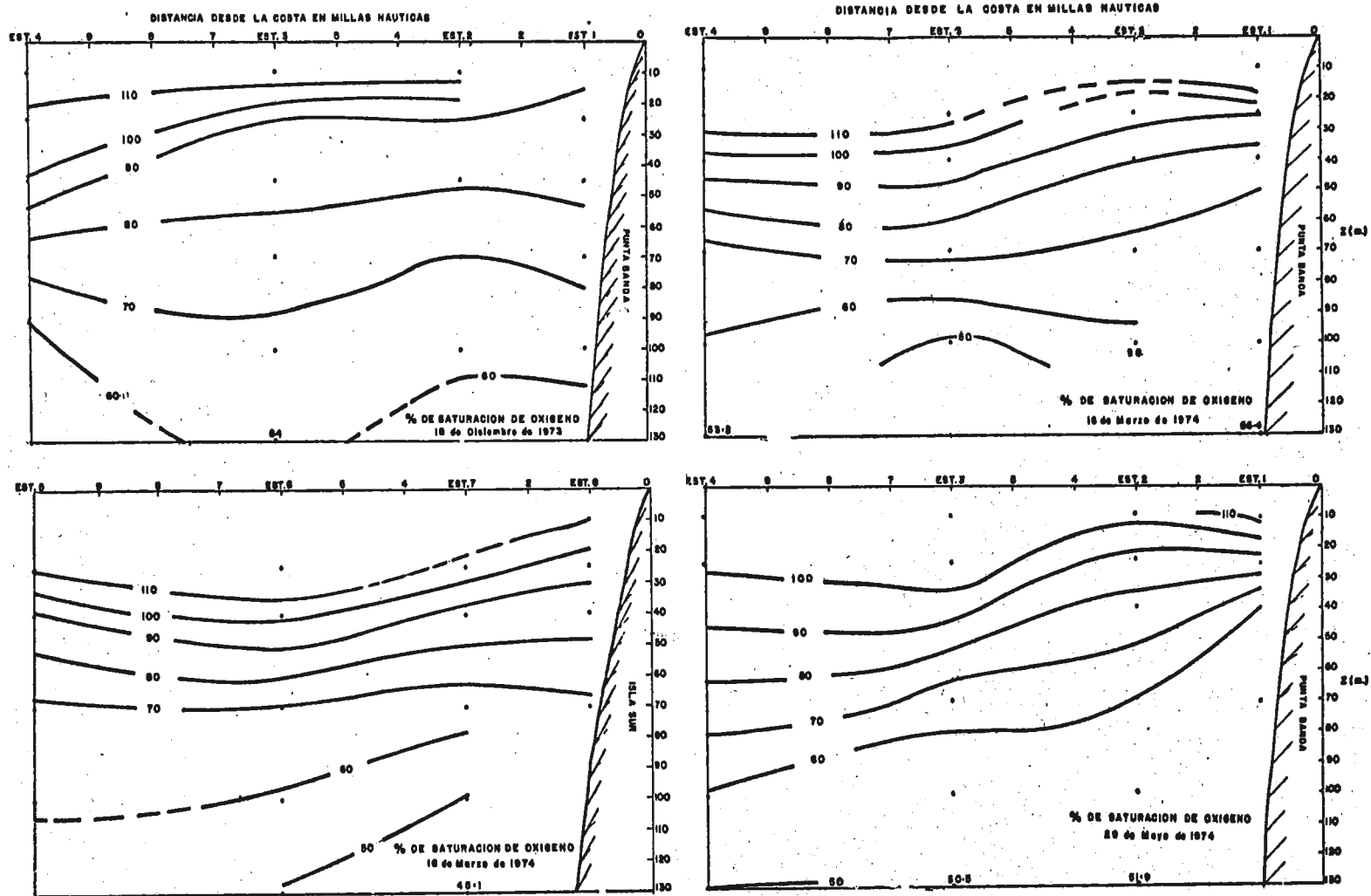


Fig. 8.- Distribución vertical de % de saturación de oxígeno para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de Diciembre; b) Punta Banda, 16 de Marzo; c) Isla Sur, 16 de Marzo; d) Punta Banda, 29 de Mayo.

costa, se mostró sólo desde 3 millas náuticas de la costa.

El 29 de mayo (Fig. 9d) la concentración de nitratos varió de $2\mu\text{M}$ en la superficie a $20\mu\text{M}$ de 110-130 m. Las isolíneas ascienden más marcadamente hacia la costa y desde mayor profundidad que en marzo (Fig. 9d), presentando un gradiente vertical de $14\mu\text{M}$ en 30 m en la superficie cerca de la costa.

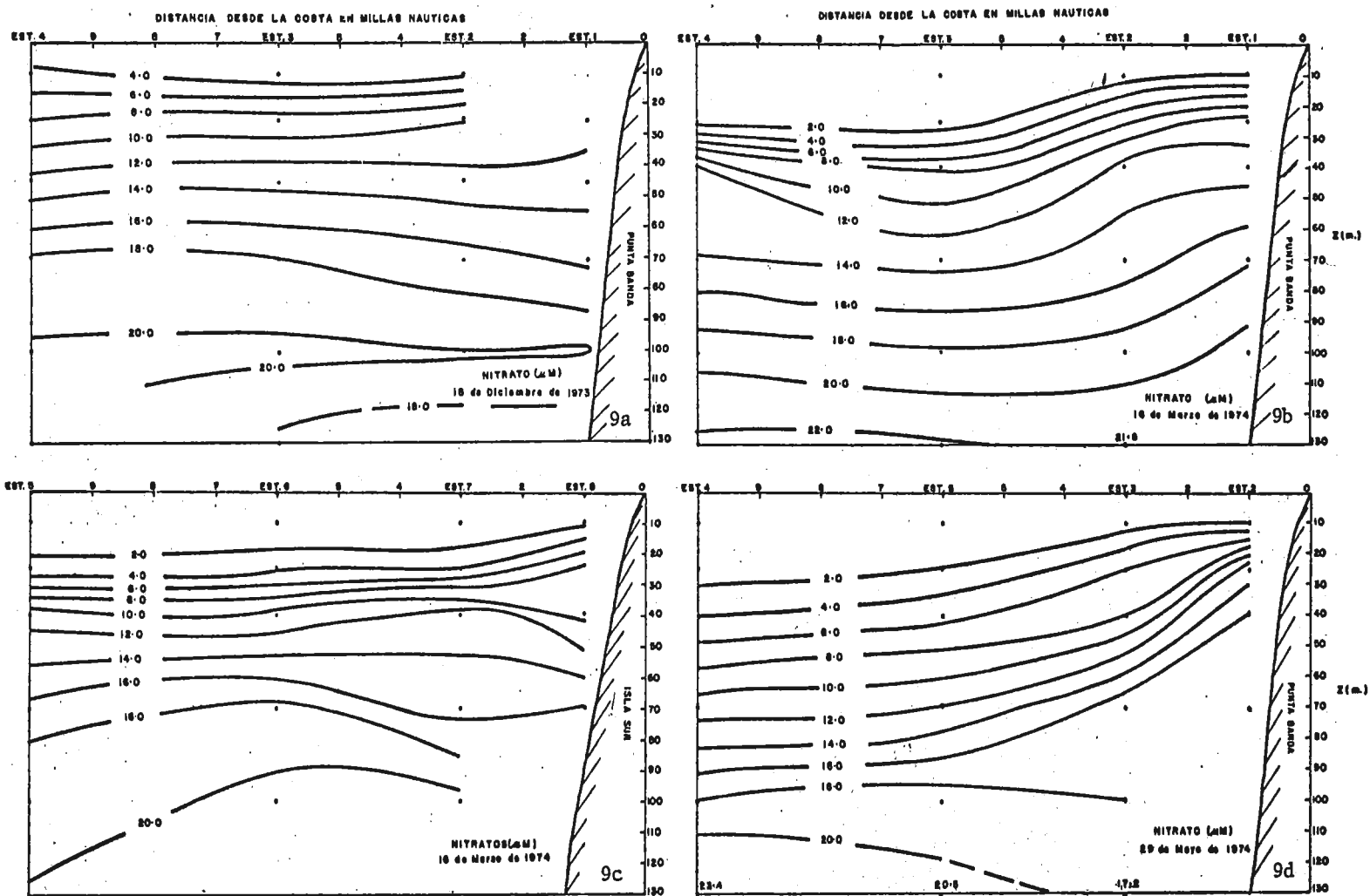


Fig. 9.- Distribución vertical de nitratos (μ M) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de Diciembre; b) Punta Banda, 16 de Marzo; c) Isla Sur, 16 de Marzo; d) Punta Banda, 29 de Mayo.

DISCUSION

Bakun y Nelson (1975), basándose en un análisis de esfuerzos de viento y transportes de Ekman, para una red de cuadrados de 1° de latitud y longitud, a partir de observaciones de barcos desde 1945-74, consideran que la costa de Baja California presenta condiciones propicias para surgencias durante todo el año, con épocas de mayor efecto durante la primavera, generalmente.

Las aguas adyacentes a la costa de Baja California pertenecen al sistema de la Corriente de California.

La Corriente de California (siendo una de las corrientes con frontera al este), representa la continuación de la Corriente Aleutiana del Pacífico Norte. El nombre se aplica al flujo hacia el sur, entre latitudes de 48°N y 23°N, donde el Agua del Subártico converge con la Ecuatorial. El límite al oeste está representado por la región de frontera entre el Agua del Subártico y el Agua Central del Nor Pacífico Oriental en la latitud de 32°N, a una distancia aproximada de 700 Km de la costa (Sverdrup et al., 1942). Como un todo, la corriente representa un ancho cuerpo de agua que se mueve lentamente hacia el SE, ya que debido a su gran anchura, no se desarrollan altas velocidades, excepto dentro de turbulencias locales (de Sverdrup et al., 1942). Durante primavera y verano, la Corriente de California es una contraparte a la Corriente de Perú, por lo que las dos corrientes tienen características marcadamente similares (Sverdrup et al., 1942), siendo además, la época en la cual se presentan las surgencias a razón de 20 m/mes ($8 \times 10^{-4} \text{ cm seg}^{-1}$, según Mc Ewen (de Sverdrup et al., 1942).

Temperatura

La estructura térmica indica que las temperaturas cercanas a la superficie son más bajas cerca de la costa con isotermas someras ascendiendo hacia la costa (Wooster y Reid, 1963). Las ascenciones generales de la termoclina hacia la costa, son indicativas de la distribución de masa asociada con la circulación geostrófica hacia el Ecuador. Además, el gradiente térmico vertical decrece cerca de la frontera, con las isotermas superiores elevándose y las isotermas más profundas hundiéndose hacia la costa. De ahí que se indique la presencia de una subcorriente hacia los polos en casos en que se encuentren temperaturas más altas a profundidad cerca de la costa. Hart y Curie (1960; de Wooster y Reid, 1963), sugieren que, cuando se observe que las isotermas ascienden hacia la costa, pero se presente aún un fuerte gradiente térmico vertical muy cercano a la costa, esta condición deberá considerarse como un residuo de una surgencia previa, en lugar de evidencia de surgencia activa durante el tiempo de observación.

En corrientes con frontera al este, hay el ascenso general de la termoclina (e isotermas) hacia la costa (reflejando la distribución de masa asociada con el flujo geostrófico hacia el Ecuador), con las surgencias, la termoclina asciende abruptamente hacia la costa y puede aún interceptar la superficie, por lo que el gradiente vertical de temperatura puede decrecer cerca de la costa.

Las surgencias y el enfriamiento estacional combinados dan por resultado un rango más amplio de temperaturas cerca de la costa que el que se encuentra fuera de ella. Al norte de Punta Concepción, las surgencias se presentan más tarde que en las zonas al sur de ella (Reid et al., 1958) y alarga el

período frío, y disminuye el rango estacional mucho más comparado con el de las aguas fuera de la costa. Por lo que en marzo y agosto, las temperaturas adyacentes a Cabo Colonett (30°N) son de 12 y 19°C , mientras que las adyacentes a Cabo Mendocino, están entre 10 y 11°C . Cerca del continente al norte de Punta Concepción, los rangos estacionales son disminuidos y el período frío es alargado debido a las surgencias. Entre Punta Concepción y Punta Eugenia, las surgencias disminuyen el rango estacional de temperaturas (Reid et al., 1958).

Para el muestreo del 18 de diciembre (Fig. 4a), la distribución de temperatura fué más o menos estratificada y las isotermas presentan un ligero ascenso en la superficie cerca de la costa. Condición mencionada anteriormente como normal en la Corriente de California, por lo que no se detectaron condiciones de surgencia.

El ascenso de las isotermas mostrado por la distribución de temperatura del 16 de marzo en Punta Banda e Isla Sur (Fig. 4b y 4c), es una de las características producidas por surgencias, que en este caso fueron corroboradas por la distribución del resto de los parámetros estudiados. El descenso de la isoterma de 9.5°C es muy probable que sea representativo de la subcorriente hacia los polos mencionada por Smith (1968), debida al descenso de isopícnas hacia la costa, a profundidades mayores de 100 m. Además, los datos de densidad indican que se encontraron aguas menos densas en la zona cercana a la costa por debajo de 100 m, y las isolíneas de oxígeno de 3.5 ml/l y 4.0 ml/l (Fig. 7b) muestra también descenso hacia la costa, por debajo de 100 m. La razón por la que el efecto en la distribución de temperatura por la surgencia no sea tan notable en Isla Sur (Fig. 4c), como en Punta Banda

(Fig. 4b), puede ser debido a que Isla Sur presenta menor frontera al este que Punta Banda.

Los fuertes gradientes de temperatura encontrados el 29 de mayo (Fig. 4d) cumplen con las condiciones por las que Hart y Curie (1960; de Wooster y Reid, 1963) sugieren deba considerárseles como un residuo de surgencia previa, en lugar de evidencia de surgencia activa durante el tiempo de observación. Lo anterior es apoyado por la distribución de salinidad que se discutirá enseguida.

Salinidad

La Corriente de California es el único caso de corrientes con frontera al este en la que la distribución de salinidad generalmente aumenta con la profundidad cerca de la costa, por lo que las surgencias causan un aumento en la salinidad superficial (Wooster y Reid, 1963).

Los valores bajos de salinidad en la superficie se deben al aporte de agua del Subártico que recibe la Corriente de California y dichos valores permiten seguir el efecto de la Corriente de California sobre la Corriente Nor-Ecuatorial que fluye hacia el W (de Reid et al., 1958). El caso extremo del efecto de surgencias en la variación estacional superficial de salinidad, se observa al N de Punta Concepción (Reid et al., 1958).

Para los muestreos de este estudio se observa en la distribución de salinidad que el 18 de diciembre (Fig. 5a) no se presentaron condiciones de surgencia.

El 16 de marzo (Fig. 5b y 5c) las isohalinas ascienden marcadamente hacia la costa reafirmando condiciones de surgencia indicadas por la distribución de temperatura. Dicho ascenso es menos marcado en Isla Sur (Fig. 5c)

que en Punta Banda (Fig. 5b), quizás por la razón ya expuesta.

El 29 de mayo (Fig. 5d) la distribución superficial en forma de lenguetas y la inversión de salinidad hasta los 50 m, es muy probable que fueran ocasionadas por una surgencia de varios días de actividad. Ya que su distribución sugiere un aumento de salinidad ocasionado por una surgencia, seguido de una advección hacia afuera de la costa.

Densidad

La distribución vertical de densidad es casi paralela a la de temperatura, con las isopicnas ascendiendo hacia la costa (Wooster y Reid, 1963).

En el área adyacente a la costa oeste de Norte América, el efecto combinado de la termoclina y haloclina es dar por resultado una picnoclina muy fuerte que puede intersectar la superficie a manera de un frente durante surgencias intensas (Smith, 1968).

El gradiente vertical de densidad por debajo de los 100 m más o menos, en zonas adyacentes a muchas de las costas con surgencia (incluyendo la región de la Corriente de California), decrece debido al descenso de isopicnas hacia la costa, a profundidades por debajo de los 100 m. Esto está aparentemente asociado con la subcorriente hacia los polos indicada en estudios teóricos y de observación de regiones de surgencias (Smith, 1968).

En el muestreo del 16 de marzo (Fig. 6b y 6c) las isopicnas mostraron ascenso hacia la costa, condición característica de surgencia. Dicho ascenso fue menos marcado en Isla Sur que en Punta Banda. La picnoclina no estuvo muy marcada, pero las isopicnas indicaron un mayor gradiente vertical a 3 millas náuticas de la costa. Además, los datos de densidad indican que se encontraron aguas menos densas en la zona cercana a la costa por debajo de 100 m, apoyando la idea de la presencia de una subcorriente hacia los polos.

El 29 de mayo (Fig. 6d), las isopicnas mostraron también ascenso hacia la costa.

Oxígeno

En la mayoría de los océanos, el oxígeno disuelto disminuye con la profundidad desde valores cercanos a la saturación en la superficie, hasta valores relativamente bajos en un mínimo de oxígeno que se localiza a profundidades intermedias. En las corrientes de frontera al este, las isolíneas de oxígeno disuelto ascienden hacia la costa, donde el mínimo de oxígeno es más somero y tiene el contenido de oxígeno más bajo. Algunas veces, las surgencias son tan intensas que las aguas cercanas a la costa son significativamente subsaturadas (Wooster y Reid, 1963).

En áreas adyacentes a la costa de California, los valores de saturación de oxígeno no son tan bajos en comparación a otras regiones de surgencias en las que llegan a ser desde 36-70%, y hasta 6% (de Wooster y Reid, 1963).

El valor de saturación de oxígeno depende tanto de la temperatura como de la salinidad, pero sobre el rango de variación de estas dos cantidades en las capas superiores de la Corriente de California, el efecto de la temperatura es varias veces mayor que el de la salinidad (Reid et al., 1958). Durante el verano, las aguas superiores que entran desde el NW, tienen alto contenido de oxígeno, llegando a ser mayor de 7 ml/l. En el SW, contienen generalmente menos que 5.5 ml/l. Un rasgo marcado de la distribución de oxígeno de la capa superior, es el somero máximo subsuperficial encontrado sobre la mayor parte del área en verano y otoño. Bajo este máximo, y a un nivel correspondiente al mínimo de salinidad, el oxígeno

no muestra una brusca caída. El valor del porcentaje de saturación, el cual ha estado hasta o por encima de 100, cae marcadamente. Esto puede significar que el agua por encima de la termoclina permanente, tiene relativamente libre acceso al oxígeno atmosférico, pero que la estabilidad del agua al nivel del mínimo de salinidad (el cual permite a una delgada capa preservar su baja de salinidad sobre ciertas millas de movimiento), severamente limita la transferencia de oxígeno hacia abajo, desde las capas ricas (Reid et al., 1958). En períodos de intensas surgencias, las aguas de bajo contenido de oxígeno, de abajo, pueden llegar a la superficie y permanecer por debajo de saturación (a medida que aumenta su temperatura), por varios días antes de lograrse la saturación (Reid et al., 1958).

La distribución de oxígeno para el muestreo del 18 de diciembre (Fig. 7a) fue más o menos estratificada, con un mínimo de 4.0 ml/l en la estación 3 por debajo de los 130 m. No se presentaron condiciones de surgencia.

Para el muestreo del 16 de marzo (Fig. 7b y 7c), los máximos observados en Punta Banda e Isla Sur, a 3 millas náuticas de la costa, indican la actividad fotosintética del fitoplancton, que de acuerdo a Laurs (1967) tiende a agruparse durante procesos de surgencias entre el frente ocasionado por el corte de la picnoclina con la superficie del mar, y la costa. La actividad fotosintética indicada por los máximos de oxígeno mencionados, es factible, ya que durante la noche anterior al muestreo se observó abundante bioluminiscencia.

El 29 de mayo (Fig. 7d) la distribución de oxígeno mostró isolíneas ascendiendo hacia la costa y un fuerte gradiente vertical cercano a la costa, que sugiere que la surgencia ya tenía varios días de formada. Además, la inversión observada a 6 millas náuticas de la costa sugiere consumo de

oxígeno por parte de miembros de los niveles tróficos siguientes al fitoplancton, que Laurs (1967) encontró en Oregon por fuera del frente formado por la picnoclina durante surgencias.

El oxígeno es el único parámetro que se analizó también en el estudio del 5 de mayo de 1971 (Cota, 1971) en esta misma zona. El rango encontrado en 1971 tuvo una diferencia de 0.5 ml/l con el de 1974. No se observó zona de inversión en la superficie. Las isolíneas ascendieron hacia la costa más marcadamente, mostrando un fuerte gradiente vertical de 2.0 ml/l en 20 m a 7 Km de la costa. Ese mismo gradiente se localizó a 1 milla náutica (1852.25 m) de la costa el 29 de mayo de 1974. Esto da una idea de los diferentes efectos de surgencia en diferentes épocas, debidos a diferentes condiciones de los factores que las ocasionan.

El % de saturación de oxígeno no varió mucho entre los 3 muestreos (Fig. 8), pero como se mencionó anteriormente, las aguas de la Corriente de California no sufren de un descenso fuerte en el porcentaje de saturación de oxígeno durante épocas de surgencias. Sólo se observó una leve disminución en el muestreo del 29 de mayo, de 2-10 millas náuticas de la costa, debido probablemente a la utilización de oxígeno por miembros de niveles tróficos siguientes a los del fitoplancton.

Nitratos

En las capas superficiales, ésto es, en la zona eufótica, los procesos biológicos conducirán generalmente a una utilización neta de elementos nutrientes y, si la razón de utilización excede a la razón de aporte por difusión y advección, las concentraciones decrecerán (Sverdrup et al., 1942). En añadidura a las fluctuaciones de consumo, el aporte de elementos

nutrientes a las capas superficiales puede variar durante el curso del año. Por ejemplo, la magnitud del coeficiente vertical de difusión turbulenta, A_z , es independiente del gradiente en las concentraciones de nutrientes, pero será afectada por la distribución de temperaturas y las condiciones de viento. Además, los cambios debidos a desviaciones de las corrientes afectarán las distribuciones a pesar de ello, indudablemente, los efectos más conspicuos son aquellos debidos a advección vertical (Sverdrup et al., 1942).

En el caso de las surgencias, las aguas de rico contenido de nutrientes que son las que se encuentran por debajo de la zona eufótica, debido a la oxidación de materia orgánica que cae desde la superficie y donde no son consumidos por el fitoplancton, son transportados verticalmente hacia la superficie. En regiones costeras, donde las surgencias son estacionales o intermitentes, el contenido de nutrientes de las aguas superficiales puede mostrar marcadas fluctuaciones, y puede realmente aumentar durante la estación de máxima actividad biológica (Sverdrup et al., 1942).

El nitrato es una de las formas más abundantes de nitrógeno inorgánico, siendo uno de los principales nutrientes al cual se le encuentra en concentraciones de aproximadamente $0.1-43 \mu\text{gat/l}$ (Sverdrup et al., 1942), con valores bajos en la superficie y altos en aguas profundas y su distribución en la Corriente de California será afectada por las surgencias como la del resto de los nutrientes, aportando una gran cantidad de él a la zona eufótica.

Para el muestreo del 18 de diciembre (Fig. 9a), el máximo de $20 \mu\text{M}$ encontrado entre 95 y 115 m, responde quizás por el mínimo de oxígeno (Fig. 7a) encontrado a tal profundidad, ya que al haber mayor formación de nitra

tos por debajo de la zona eufótica se requiere más oxígeno para la oxidación de materia orgánica. Además, la zona no afectada por el mínimo de oxígeno cerca de la costa (Fig. 7a) presenta menor cantidad de nitratos (Fig. 9a).

Para el 16 de marzo en Punta Banda (Fig. 9b) la distribución de nitratos presentó isolíneas ascendiendo hacia la costa, característica de surgencia. El rango encontrado fue mayor en marzo que en diciembre (Fig. 9a) pero en la superficie, los valores fueron menores en marzo que en diciembre, reflejando una mayor utilización por el fitoplancton. Lo mismo sucede en mayo.

La distribución en Isla Sur fue similar a la de Punta Banda con leves diferencias cerca de la costa entre 40 y 70 m, debidas quizás al efecto de la costa. Mostró además, alguna diferencia en la columna muestreada a 10 millas náuticas de la costa. Quizás en la distribución de nitratos sí afecte el hecho de que las estaciones más afuera de la costa de Isla Sur están aproximadamente 2.5 millas náuticas más lejanas que las de Punta Banda a esa misma distancia de la costa (Fig. 3), tomando en cuenta el hecho de que la productividad es mayor cerca de la costa.

El 29 de mayo (Fig. 9d), el fuerte gradiente vertical de $14 \mu\text{M}$ en 30 m encontrado entre 10 y 40 m, a 1 milla náutica de la costa, indica que la zona de Punta Banda recibe un buen aporte de nitratos durante surgencia.

Deducción de velocidad ascendente y horizontal para el muestreo de marzo

La deducción se basó en transportes calculados a partir del desplazamiento de la isopicna de $\sigma_t = 25.70$ y de datos de vientos obtenidos de cartas meteorológicas.

Por desplazamiento de la isopicna 25.70:

Si consideramos que durante un proceso de surgencia sólo hay aporte de agua desde el fondo y que ese volumen aportado sólo sale del área de influencia horizontalmente hacia afuera de la costa, o sea, que los gradientes meridionales son despreciables y que no hay transporte a través de isolíneas, entonces, podemos calcular el orden de magnitud de las velocidades, a partir de desplazamiento de isolíneas. En este caso se eligió la isopicna de 25.70 debido a que su desplazamiento entre diciembre y marzo facilitó el cálculo del incremento de área ocasionado por la surgencia. Para dicho cálculo se tomó como frontera al este la distancia paralela a la costa, a una milla de la misma, entre 36 y 66 m de profundidad que fue lo que se desplazó la isopicna, no se tomó el contorno de la costa debido a la falta de datos para la porción entre la costa y una milla de ella, por lo que desconocemos la influencia que pudiera tener la costa sobre la distribución de densidad. El incremento de área, dividido por el incremento de tiempo entre el desplazamiento de la isopicna, da por resultado un transporte de $1.6 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$. Dividiendo el transporte entre el área por la que entra el agua, que en este caso fue de $7.8 \times 10^3 \text{ m}^2$, se obtiene una velocidad ascendente de $2.1 \times 10^{-4} \text{ cm seg}^{-1}$. Si el transporte se divide entre el área por la que sale el agua, que fue de 18.3 m^2 , obtenemos una velocidad horizontal hacia afuera de la costa de $8.7 \times 10^{-2} \text{ cm seg}^{-1}$. Este método es adecuado cuando se llevan a cabo los muestreos a intervalos

de 3-10 días, que es la duración de formación de una surgencia, aplicado de esa manera se llegan a obtener velocidades ascendentes del orden de 10^{-2} cm seg⁻¹, en nuestro caso la diferencia se debe al incremento de tiempo tan grande entre los muestreos.

Por datos de viento obtenidos de cartas meteorológicas:

Los datos obtenidos de las cartas meteorológicas se muestran en la Tabla 1, así como los esfuerzos de viento y transportes de Ekman calculados a partir de dichos datos.

Los esfuerzos se calcularon a partir de la fórmula

$$\vec{T} = \rho_a C_d |\vec{v}| \vec{v}$$

donde:

\vec{T} = esfuerzo de viento

ρ_a = densidad del aire = 1.22×10^{-3} g cm⁻³

C_d = coeficiente de arrastre = 1.3×10^{-3}

$|\vec{v}|$ = magnitud del viento observado

\vec{v} = vector del viento observado

Los valores de la densidad del aire y el coeficiente de arrastre se tomaron de Bakun y Nelson (1975).

Los transportes de Ekman se calcularon utilizando la fórmula

$$\vec{V}_E = \frac{1}{f} \vec{T} \times \vec{k} \quad (\text{Ver Apéndice I})$$

donde:

\vec{V}_E = transporte de Ekman

f = parámetro de Coriolis = 7.67×10^{-5} para la latitud de 31°45' N

\vec{T} = esfuerzo de viento

\vec{k} = vector unitario con sentido hacia arriba, que indica que el

transporte es a 90° a la derecha (en el hemisferio norte) del esfuerzo de viento.

Día	Viento		Esfuerzo ($\vec{\tau}$) dina cm ⁻²	\vec{V}_E (m ³ seg ⁻¹ m ⁻¹ de costa)
	Dir.	Vel (m seg ⁻¹)		
13	NW	7.7	0.9	1.225
14	NW	9.25	1.4	1.769
15	N	9.0	1.3	1.674
16	N	2.5	0.1	0.129

Tabla 1.- Conciciones de viento y transportes de Ekman tres días antes del muestreo en marzo (inclusive), calculados a partir de datos de cartas meteorológicas.

Para obtener las velocidades se procedió de la misma manera que en el caso anterior, o sea, dividiendo el transporte entre el área por la que entra el agua ($7.8 \times 10^3 \text{ m}^2$) para la velocidad ascendente y entre el área por la que sale (18.3 m^2) para la velocidad horizontal hacia afuera de la costa. El transporte utilizado para el cálculo fue la media del transporte en los 3 días anteriores al muestreo que fue $1.6 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ por metro de costa. La consideración anterior fue debido a que el día del muestreo el viento disminuyó su intensidad, disminuyendo el efecto de surgencia provocado por el esfuerzo del viento de los 3 días anteriores. La velocidad ascendente resultó igual a $2.1 \times 10^{-2} \text{ cm seg}^{-1}$ y la velocidad horizontal fue

8.7 cm seg^{-1} .

La diferencia encontrada entre uno y otro método fue del orden de 10^2 , debido a la razón ya expuesta del gran incremento de tiempo entre los muestreos para el caso de desplazamiento de isolíneas. Para este estudio, se tiene mayor confianza en el cálculo a partir de datos obtenidos de cartas meteorológicas.

El transporte de Ekman calculado a partir de datos de cartas meteorológicas para el muestreo de marzo, representa un índice de surgencia mayor al calculado por Bakun y Nelson (1975), para latitudes cercanas a 32°N en áreas adyacentes a Baja California para la misma época. Esto es debido a que el cálculo de Bakun y Nelson fue para una escala mucho mayor a la tratada en este estudio, y a partir de medias mensuales, pero los valores calculados son cercanos.

CONCLUSION

A pesar de no haber llevado a cabo los muestreos a intervalos de 3 a 10 días, que es el tiempo de formación de una surgencia, podría considerarse a las condiciones encontradas en marzo como una fase inicial de surgencia, ya que no es evidente un corte de la pycnoclina con la superficie del mar. Y a las condiciones presentadas en mayo, podría considerárseles como representativas de una fase avanzada de surgencia. Lo anterior, debido al fuerte gradiente vertical que acompaña al ascenso de isolíneas entre 1 y 3 millas náuticas de la costa. Esto es apoyado por la distribución de salinidad en forma de lenguetas y la inversión encontradas alrededor de 50 m de profundidad, en mayo.

En marzo y mayo, las isolíneas de temperatura, salinidad, densidad, oxígeno y nitratos (a excepción de las del oxígeno en mayo), muestran descenso hacia la costa por debajo de 100 m, indicando la presencia de una subcorriente hacia los polos, característica de surgencia, mencionada en algunos estudios teóricos.

El contenido de nitratos (único parámetro que no se había analizado anteriormente con relación a surgencia), fue abundante ($2-20\mu\text{M}$) en toda la columna muestreada (130 m), durante los 3 muestreos. En la fase avanzada de surgencia (mayo), presentó un fuerte gradiente vertical ($14\mu\text{M}$ en 30 m), entre 10 y 40 m a 1 milla náutica de la costa, indicando que la zona de Punta Banda recibe un buen aporte de nitratos durante surgencia.

El máximo de oxígeno encontrado a 3 millas náuticas de la costa en marzo, sugiere una mayor concentración de fitoplancton alrededor de esa zona. Y la inversión de oxígeno encontrada en mayo a 6 millas náuticas de la

costa sugiere utilización por parte de miembros de niveles tróficos siguientes al fitoplancton.

El transporte de Ekman calculado a partir de datos de cartas meteorológicas para el muestreo de marzo, representa un índice de surgencia mayor al calculado por Bakun y Nelson (1975), para latitudes cercanas a 32°N en áreas adyacentes a Baja California, para la misma época. Esto es debido a que el cálculo de Bakun y Nelson fue para una escala mucho mayor a la tratada en este estudio, y a partir de medias mensuales, pero los valores calculados son cercanos.

APENDICE I.- Corrientes causadas por el viento y la rotación terrestre
Unicamente.

Durante el estudio de observaciones de viento y deriva de hielo llevadas a cabo durante la deriva de la embarcación "Fram", Fridtjof Nansen encontró que la deriva producida por un viento dado no seguía, de acuerdo a la opinión general, la dirección del viento, sino que se desviaba 20-40° hacia la derecha. Nansen se explicó esta desviación como una consecuencia obvia de la rotación terrestre y concluyó después, que la capa de agua inmediatamente debajo de la superficie debería tener una desviación algo más grande que la anterior y así sucesivamente, ya que cada capa de agua es puesta en movimiento por la capa inmediatamente superior, barriendo sobre ella como un viento. De ahí podría asumirse a priori, que la corriente se desplazaría a cierta profundidad aún en la dirección opuesta a la corriente superficial; y consecuentemente, habría un límite a la capacidad del viento de generar corrientes (Ekman, 1905).

Bajo la sugerencia del Profesor Nansen, Ekman investigó el problema matemáticamente y encontró resultados confirmatorios de su opinión antes mencionada. Además, se comprobó que independientemente de cualquier otra circunstancia fuera de la latitud geográfica, una corriente inducida por el viento sería prácticamente, completamente desarrollada un corto tiempo después de la formación del viento generador, en un día o dos fuera de los trópicos. En esta investigación la influencia muy importante de continentes, diferencias de densidad en el agua y otras circunstancias complicantes fueron expresamente ignoradas.

Uno de los casos que trata Ekman en dicha investigación es el de las

corrientes causadas por el viento y la rotación terrestre únicamente, el cual sirve para ejemplificar el efecto del viento en la formación de surgencias.

El análisis de Ekman para el caso mencionado es el siguiente:

Se considera primero el caso posible más simple de una corriente de viento. Imagínense un gran océano de profundidad uniforme y sin diferencias de densidad que afecten el movimiento del agua. La influencia de corrientes oceánicas y continentes cercanos se pueden dejar sin considerar y por lo tanto, se asume que el agua puede entrar o salir libremente de la región considerada. Finalmente, la curvatura del globo puede despreciarse dentro de esta región y la superficie del mar puede tratarse como un plano. Supóngase a la superficie del mar impulsada por un viento estacionario y uniforme de igual intensidad y dirección sobre toda la región. Y que estas circunstancias han permanecido por tanto tiempo que se ha establecido un estado de movimiento prácticamente estacionario. Entonces, por simetría (que mantiene las mismas propiedades), el movimiento consistirá de un deslizamiento de capas de agua, una sobre la otra.

Las ecuaciones de movimiento del agua, considerándose a ésta como incompresible, son:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 u \\
 \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 v \\
 \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 w \\
 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

donde:

u, v, w son las componentes de la velocidad en las direcciones x, y, z , respectivamente.

X, Y, Z son las componentes de fuerzas externas por unidad de masa.

ρ es la densidad del fluido.

p es la presión.

μ es el coeficiente de viscosidad dinámica

t es el tiempo.

Si se asume al eje z vertical (positivo hacia abajo) y a los ejes horizontales, con la dirección positiva de y a 90° hacia la izquierda de la dirección positiva de x (Fig. 12), entonces, por simetría y por la última de las ecuaciones (1):

$$\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial p}{\partial x}, \frac{\partial p}{\partial y} \text{ y } w$$

son todas idénticas e iguales a cero, debido a que $u = u(z)$, $v = v(z)$ y $p = p(z)$.

Ya que no se tomará en cuenta ninguna fuerza externa real además de la gravedad, X e Y son sólo las componentes horizontales de la fuerza deflectora debida a la rotación terrestre (Ekman, 1905), (Fig. 10).

$$X = 2v\omega \operatorname{sen} \varphi$$

$$Y = -2u\omega \operatorname{sen} \varphi$$

donde ω es la velocidad angular de la Tierra ($0.0000729 \text{ rad seg}^{-1}$) y φ es la latitud. Ya que la aceleración de Coriolis es $= 2 \bar{\omega} \times \bar{V}$

$$\frac{\omega_z}{\omega} = \cos(90^\circ - \varphi)$$

$$\omega_z = \omega \operatorname{sen} \varphi$$

como \underline{z} es positivo hacia abajo :

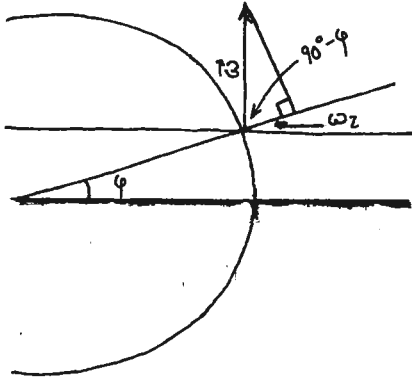


Fig. 10.- Representación de la velocidad angular de la Tierra y sus componentes.

$$\omega_z = -\omega \operatorname{sen} \varphi$$

$$2\bar{\omega} \times \bar{v} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \omega_x & \omega_y & -\omega \operatorname{sen} \varphi \\ u & v & 0 \end{vmatrix} =$$

$$= 2 \left[i(v\omega \operatorname{sen} \varphi) + j(-u\omega \operatorname{sen} \varphi) + k(v\omega_x - u\omega_y) \right]$$

$$(2\bar{\omega} \times \bar{v})_{x,y} = (2v\omega \operatorname{sen} \varphi, -2u\omega \operatorname{sen} \varphi)$$

donde:

i, j, k son los vectores unitarios en las direcciones x, y, z , respectivamente,

$\bar{\omega}$ es la velocidad angular de la Tierra,

\bar{v} es el vector velocidad.

Las últimas dos ecuaciones (1) son consecuentemente innecesarias, ya que se asume que no hay movimientos verticales, y en la última todos los términos son nulos. Y las dos primeras quedan:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 2v\omega \operatorname{sen} \varphi + \frac{H}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -2u\omega \operatorname{sen} \varphi + \frac{H}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

(2)

En el caso de movimiento estacionario, los términos de la izquierda desaparecen y z queda como única variable independiente.

Con la notación

$$a = \sqrt{\frac{\rho \omega \sin \varphi}{\mu}}$$

las ecuaciones (2) toman la forma

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \mu}{dz^2} + 2a^2 v &= 0 \\ \frac{d^2 v}{dz^2} - 2a^2 \mu &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Para resolver estas ecuaciones diferenciales se hace uso de una función compleja auxiliar definida de la forma: $\psi = \mu + i v$

de donde

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \psi}{dz^2} &= \frac{d^2 \mu}{dz^2} + i \frac{d^2 v}{dz^2} = -2a^2 v + i 2a^2 \mu = 2a^2 (-v + i \mu) = \\ &= 2a^2 i (\mu + i v) = 2a^2 i (\mu + i v) = 2a^2 i \psi \end{aligned}$$

$$\frac{d^2 \psi}{dz^2} = 2a^2 i \psi \quad (4)$$

que se resuelve:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \psi}{dz^2} - 2a^2 i \psi &= 0 \\ \psi &= e^{mz}, \quad \frac{d\psi}{dz} = m e^{mz}, \quad \frac{d^2 \psi}{dz^2} = m^2 e^{mz} \\ m^2 e^{mz} - 2a^2 i e^{mz} &= 0 \\ m^2 - 2a^2 i &= 0 \\ m^2 &= 2a^2 i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{y si: } \sqrt{i} &= x+iy \\
 i\sqrt{i}^2 &= x^2-y^2+2xyi \\
 x^2-y^2 &= 0 \\
 2xy &= 1 \\
 x &= y \\
 2x^2 &= 1 \\
 x &= \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \\
 x = y &= \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \\
 x+iy &= \pm \frac{1}{\sqrt{2}} (1+i)
 \end{aligned}$$

entonces, $m_1 \sqrt{2} a \sqrt{i} = \sqrt{2} a \left[\pm \frac{1}{\sqrt{2}} (1+i) \right]$

$$m = \begin{cases} a(1+i) \\ -a(1+i) \end{cases}$$

La solución se expresa de la forma:

$$\psi = C_1 e^{m_1 z} + C_2 e^{m_2 z}$$

y como

$$\psi = u + iv$$

$$\psi = (b+ic) e^{a(1+i)z} + (d+if) e^{-a(1+i)z}$$

(5)

donde: C_1, C_2, b, c, d, f , son constantes, y m_1, m_2 las raíces.

Sabemos que tanto u como v deben tender a cero cuando z tienda a ∞ , ya que para aguas profundas, la interacción va a ser nula, o

$$\lim_{z \rightarrow 0} (u, v) = (0, 0)$$

$$\lim_{z \rightarrow 0} \psi = 0$$

siendo ésta una de las condiciones de frontera necesarias para que la solución sea representativa del problema físico.

$$\psi = (b+ic)e^{az}e^{aiz} + (\lambda+if)e^{-az}e^{-iaiz}$$

donde:

e^{az} crece exponencialmente conforme $z \rightarrow \infty$, y como no satisface las condiciones de frontera, $(b + ic) = 0$ (Fig. 11),

e^{-az} decrece exponencialmente conforme aumenta la profundidad, cumpliendo así con las condiciones de frontera (Fig. 11).

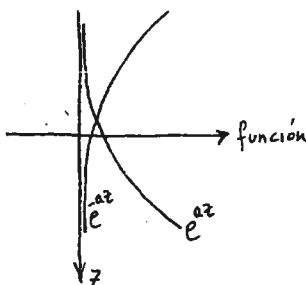


Fig 11.- Esquema de una función exponencial.

Otra de las condiciones de frontera se obtiene utilizando la hipótesis de Newton, donde se asume que:

$$\vec{T} = -\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)_{z=0}$$

donde \vec{T} es el esfuerzo tangencial en la superficie ($z = 0$).

Y en la superficie el viento está en la dirección \bar{y} (Fig. 12),

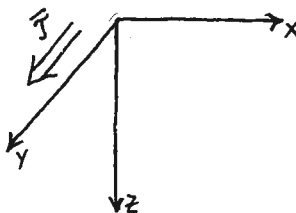


Fig. 12.- Eje de coordenadas utilizado, indicando la dirección del esfuerzo del viento (\bar{y}).

$$\bar{y} = -\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)_{z=0} \quad \text{y} \quad \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)_{z=0} = 0$$

o sea, no hay esfuerzos en \underline{x} .

Como: $\psi = u + iv$

$$\left(\frac{d\psi}{dz} \right)_{z=0} = \left(\frac{du}{dz} \right)_{z=0} + i \left(\frac{dv}{dz} \right)_{z=0}$$

multiplicando por μ

$$\mu \left(\frac{d\psi}{dz} \right)_{z=0} = \mu \left(\frac{du}{dz} \right)_{z=0} + i \mu \left(\frac{dv}{dz} \right)_{z=0}$$

Por las condiciones antes expuestas el primer término es nulo y el segundo término es $-i\bar{y}$; $\mu \left(\frac{d\psi}{dz} \right)_{z=0} = -i\bar{y}$ (6)

que es la otra condición de frontera apropiada a la forma de solución propuesta.

Como: $\psi = (d + if) e^{-a(1+i)z}$;

$$\frac{d\psi}{dz} = -a(1+i)(d+if) e^{-a(1+i)z}$$

debido a que $e^{-a(1+i)z}$ es 1 para $z = 0$,

$$\left(\frac{d\psi}{dz}\right)_{z=0} = -a(1+i)(d+if)$$

entonces,

$$\mu \left(\frac{d\psi}{dz}\right)_{z=0} = -\mu a [(d-f) + i(d+f)]$$

ya que $i^2 = -1$.

Como:

$$\mu \left(\frac{d\psi}{dz}\right)_{z=0} = -i \bar{\mathcal{F}}$$

$$i \bar{\mathcal{F}} = \mu a [(d-f) + i(d+f)] \quad (7)$$

Como no hay parte real en el término de la izquierda,

$$d - f = 0$$

$$d = f$$

$$\bar{\mathcal{F}} = 2\mu ad$$

$$\psi = (d+if) e^{-az} e^{-iaz} \quad ;$$

$$\psi = d(1+i) e^{-a(1+i)z}$$

Para obtener el valor de $(1+i)$:

Considerando la figura 13 y por variable compleja,

$$(1+i) = x + iy = re^{i\theta}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{2}$$

$$(1+i) = \sqrt{2} e^{i45^\circ}$$

Entonces

$$\psi = d\sqrt{2} e^{i45^\circ} e^{-a(1+i)z}$$

$$\psi = d\sqrt{2} e^{-az} e^{i(45^\circ - az)}$$

$$u = d\sqrt{2} e^{-az} \cos(45^\circ - az)$$

$$v = d\sqrt{2} e^{-az} \sin(45^\circ - az)$$

(8)

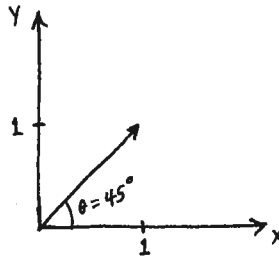


Fig. 13.- Plano complejo donde $x = y = 1$.

En la superficie $\bar{V} = \bar{V}_0$.

si: $z = 0$,

$$u = d; \quad v = d$$

y como $\bar{V}_0 = (u, v)$,

$$|\bar{V}_0| = \sqrt{u^2 + v^2} = \sqrt{d^2 + d^2} = d\sqrt{2}$$

$$u = V_0 e^{-az} \cos(45^\circ - az)$$

$$v = V_0 e^{-az} \sin(45^\circ - az) \quad (9)$$

de aquí: $\alpha(z) = 45^\circ - az$

si $z = 0$

$$\alpha_0 = 45^\circ$$

Las ecuaciones (9) muestran que en el hemisferio norte, la corriente de deriva en la superficie estará dirigida 45° hacia la derecha de la velocidad del viento (relativa al agua), y este ángulo aumenta después uniformemente con la profundidad.

De acuerdo a lo anterior, sería hasta cierto punto incierto lo que se denotaría como la profundidad de la corriente producida por el viento. Por la "profundidad de la corriente del viento", se entenderá la profundidad hasta aquel nivel donde, de acuerdo a (9), la velocidad del agua esté dirigida en sentido opuesto al de la velocidad en la superficie.

Para que: $\cos 45^\circ = -\cos(45^\circ - az)$

sólo será posible si: $az = 180^\circ$

y $180^\circ = \pi$ rad

$$z = \frac{\pi}{a} = D = \sqrt{\frac{\mu}{\rho \omega \sin \varphi}} \quad (10)$$

Si se consideran las componentes de la velocidad paralelas a la velocidad superficial, la figura 14 muestra que hay una corriente superior entre la superficie y el nivel $z = (1/2) (D)$, y por debajo de este nivel

hasta el nivel $z = D$, una corriente comparativamente débil que corre en la dirección opuesta. Perpendicularmente a la velocidad superficial la corriente tiene la misma dirección desde la superficie y hasta el nivel $z = D$.

El transporte total de agua en las direcciones (x, y) , puede ser calculado a partir de ψ .

$$\begin{aligned} S_{\psi} &= \int_0^{\infty} \psi dz = V_0 \int_0^{\infty} e^{-az} [\cos(45^\circ - az) + i \sin(45^\circ - az)] dz \\ &= V_0 \int_0^{\infty} e^{-az} e^{i(45^\circ - az)} dz = V_0 \int_0^{\infty} e^{-az(1+i)} e^{i45^\circ} dz \\ &= V_0 e^{i45^\circ} \left[-\frac{1}{a(1+i)} e^{-az(1+i)} \right]_0^{\infty} = -\frac{V_0 e^{i45^\circ}}{a(1+i)} [a - 1] \end{aligned}$$

$$S_{\psi} = \frac{V_0 e^{i45^\circ}}{a(1+i)}$$

$$e^{i45^\circ} = \cos 45^\circ + i \sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}(1+i)$$

$$S_{\psi} = \frac{V_0(1+i)}{a(1+i)\sqrt{2}} = \frac{V_0}{a\sqrt{2}}$$

Como no hay valores reales,

$$S_x = \frac{V_0}{a\sqrt{2}}$$

$$S_y = 0$$

De ahí se demuestra que el transporte neto de agua va en la dirección \underline{x} , o sea, a 90° de la dirección del viento.

Y como $v_0 = d\sqrt{2}$

y $\bar{F} = 2\mu ad$

$$S_x = \frac{\bar{F}}{2\mu a^2}$$

o sea,

$$S_x = \frac{\bar{F}}{2\rho\omega\text{sen}\gamma}$$

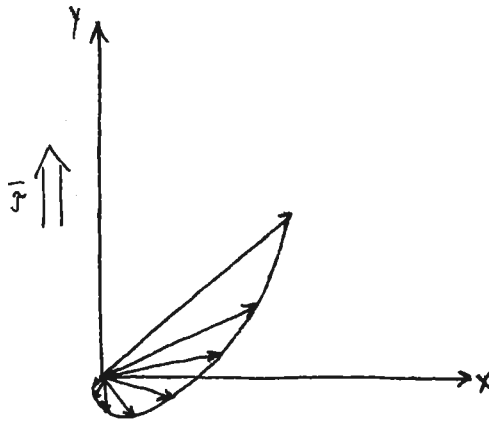


Fig. 14.- Dirección y velocidad de la corriente (representada por las flechas), a diferentes profundidades (Ekman, 1905).

APENDICE II.- Análisis de contenido de nitratos en el agua de mar.

Debido a que de cada botella Nansen se obtuvieron muestras de agua de mar para análisis de oxígeno, salinidad, nitratos y clorofila, fué necesario reducir al máximo el volumen designado para cada análisis. Por recomendación de la Dra. Mary Jane Perry (entonces estudiante de Post-grado en la Institución de Oceanografía Scripps), para el análisis de nitratos de los muestreos de marzo y mayo, se utilizó una modificación del método descrito por Strickland y Parsons (1965), la cual ha sido ya muy experimentada en dicha Institución.

Las ventajas que ofrece este método en comparación al descrito por Strickland y Parsons, son: a) se utiliza mucha menor cantidad de volumen de agua de mar por muestra, b) mayor rapidez en el flujo de la muestra a través de la columna de cadmio, c) se requiere menor cantidad de reactivos, d) la construcción de las columnas es más económica, e) al tratarse cada muestra por triplicado, utilizando la primera de las tres para enjuague, se reduce la contaminación y se obtienen valores por duplicado para cada muestra, y f) no es necesario esperar para añadir la solución de Naftil después de añadir la de Sulfanilamida. Todo lo anterior debido a la reducción del tamaño de las columnas que en el método antiguo son de 30 cm de longitud, y en el modificado de 10 cm de longitud.

El método consiste en hacer pasar la muestra de agua con solución de cloruro de amonio concentrado (0.5 ml por cada 10 ml de muestra) a través de una columna de cadmio para que éste lleve a cabo la reducción de nitratos a nitritos, que es lo que en última instancia es determinado; una vez que fluye la muestra por la columna, se le añade 0.2 ml de una solución de

Sulfanilamida, se agita e inmediatamente se le agrega 0.2 ml de una solución de Dihidrocloreuro de N-(1-Naftil)-Etilendiamina, la cual le da a la muestra una coloración característica, cuya absorbancia es después medida. Se espera 10 minutos para que se desarrolle completamente la coloración y se lee en un espectrofotómetro en una celda de 1 cm a 5430 Å (en el instrumento utilizado en esta ocasión, que es un Coleman-Hitachi, Modelo 139, se lee a 5600 Å), del cual se obtienen valores de absorbancia que por medio de la fórmula:

$$\mu\text{gatN/l} = \text{absorbancia corregida} \times F/L$$

se convierten a valores de concentración de nitrógeno expresados de la forma $\mu\text{gatN/l}$ ó μM , donde:

absorbancia corregida = lectura de absorbancia - blanco (o testigo),

F = factor = 20.0/E para la concentración de $20\mu\text{M}$,

E = media de absorbancia para la solución estandar,

L = longitud de la celda.

Al empezar a utilizar este método, se construyeron las columnas con un diámetro de tubo de vidrio menor al ya experimentado y se presentaron muchos problemas, ya que no era posible obtener para la curva de nitratos a diferentes concentraciones, una recta, que es la que representa correctamente la proporción de los nitratos. En cuanto fue posible obtener tubo de vidrio del diámetro indicado, se eliminaron estos problemas y se procedió al análisis.

Para una mayor comprobación de los resultados obtenidos se analizaron muestras de igual concentración en columnas de 10 y 30 cm de longitud, y para la de $20\mu\text{M}$, el factor encontrado fue de 60 para ambos casos.

AGRADECIMIENTOS

En todo estudio llevado a cabo es de gran importancia el deleite de utilizar unas horas del tiempo de personas experimentadas, que son capaces de impulsar al estudiante distancias mucho más grandes en la experiencia (lo que siempre se les agradecerá), que meses o años al lado de personas sin esa cualidad.

Agradezco al Dr. Nicolás Grijalva O. el haber hecho posible este trabajo y por dirigir la etapa inicial. Lo mismo que al M.C. Luis Gustavo Alvarez por su valiosa y dedicada dirección en la etapa final de este estudio. Al Dr. Saúl Alvarez por haber permitido el uso de equipo y laboratorio de Química de la Unidad de Ciencias Marinas, por la revisión del escrito y sus valiosas opiniones. Al Dr. Joseph L. Reid, Jr. y Dr. John R. Beers por haber revisado las gráficas y por sus expertas opiniones. A la Dra. Mary Jane Perry por su gran interés y ayuda en lo referente al análisis de nitratos. Al P.O. Gilberto Flores M. por su gran apoyo y su dedicada cooperación durante los análisis químicos. Al P.O. Héctor Rivera C. por su valiosa ayuda en la etapa final de análisis de nitratos. Al Ocean. Bernardo P. Flores y al P.O. Jorge Rivera por valiosa información sobre equipo y reactivos para nitratos y oxígeno. Al M.C. George Heminway por valiosa orientación con respecto a la planeación del muestreo y por acertadas sugerencias sobre la presentación final de este trabajo. A la Ocean. Ma. Luisa Argote por sus opiniones sobre la planeación del muestreo y por su confianza en el uso de equipo para el primer muestreo, así como por su valiosa ayuda durante los muestreos. Al Quím. George Anderson y personal del DCPG de SIO por las facilidades otorgadas para la calibración de matra

ces para análisis de oxígeno. Al Dr. Robert M. Laurs, Dr. Andrew Bakun y Ocean. Alfredo Cota por proveerme de importante bibliografía y opiniones. Por lo anterior, al Dr. Niels Christensen, Jr. y por valiosas opiniones sobre la presentación final del trabajo. Al Meteorólogo Gerard Vogel por su colaboración en análisis de datos meteorológicos. Al Fís. José Luis Ochoa de la Torre por valiosas enseñanzas que facilitaron la comprensión de aspectos elementales de Oceanografía Física tratados en este estudio, y gran ayuda durante los muestreos. Al Dr. Merritt R. Stevenson por valiosas sugerencias para el conocimiento de circulación durante procesos de surgencia. Agradezco la valiosísima ayuda de los compañeros: Leonardo Lopez, Julia G. Chávez, Carolina Morales, Javier Rebollar, Javier García, Felipe Plaza, Jorge Ballesteros, Leonel López, Esteban Félix, Rigoberto García y Saúl Miranda, que hicieron posibles los muestreos. Agradezco además, las facilidades otorgadas por el Departamento de Sismología del CICESE para una mejor presentación de las figuras.

Este estudio fue un trabajo para el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, con la valiosa cooperación de la Unidad de Ciencias Marinas de la U.A.B.C.

BIBLIOGRAFIA

- Bakun, A. 1973. Coastal Upwelling Indices, West Coast of North America, 1946-71. NOAA Rept. NMFS, SSRF-671, 85 pp.
- Bakun, A. 1975. Climatology of the upwelling-related processes off Baja California. Paper to be presented at and published in the proceedings of a Symposium On Fisheries Science presented by the Autonomous University of Baja California at the Higer School of Marine Sciences, Ensenada, Baja California, 16-22 February 1975.
- Bakun, A., D. R. McLain, and F. V. Mayo. 1974. The mean annual cycle of coastal upwelling off western North America as observed from surface measurements. Fish. Bull. 72: 843-844.
- Cota V., A. 1971. Estudio Oceanográfico-Químico de la Surgencia Localizada en la Zona de Punta Banda, B. C. U.A.B.C., Escuela Superior de Ciencias Marinas. Tesis Profesional, 63 pp.
- CUEA News Letter. Vol. 2, No. 1, Jan. 15, 1973.
- Cushing, D. H. 1971. Upwelling and the Production of Fish. Adv. Mar. Biol., 9: 255-334.
- Ekman, V. W. 1905. On the influence of the earth's rotation on ocean currents. Reprinted from Arkiv för matematik, astronomi, och fysik. Band 2: No. 11.
- Glossary of Oceanographic Terms. 1966. Edited by B. B. Baker, Jr., W. R. Deebel, R. D. Geisenderfer. U. S. Naval Oceanogr. Off., SP-35.
- Laurs, R. M. 1967. Coastal Upwelling and the Ecology of Lower Trophic Levels. Oregon State University, Ph. D. Thesis, 121 pp.
- Marine Technician's Handbook, Oxygen Analysis. 1971. SIO Reference No. 71-8. Sea Grant Publication No. 9.
- Mc Nider, R. T., and J. J. O'Brien. 1973. A Multi-Layer Transient Model of Coastal Upwelling. Phys. Oceanogr. 3: 258-273.
- Park, K., J. G. Pattullo, and B. Wyatt. 1962. Chemical Properties as Indicators of Upwelling Along the Oregon Coast. Limnol. and Oceanogr. 7: 435-437.
- Parsons, T. R., and M. Takahashi. 1973. Biological Oceanographic Processes. Pergamon Press Ltd. First Edition.

- Reid, J. L., Jr. 1967. Upwelling. In: International Dictionary of Geophysics, Pergamon Press, London, edited by S. K. Runcorn, 1638-1640.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden, and J. G. Wyllie. 1958. Studies of the California Current System. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest., Prog. Rept. 1 July 1956 to 1 Jan. 1958, p. 27-57.
- Ryther, J. H. 1971. Photosynthesis and Fish Production on the Sea. In: Readings in Mar. Ecol. 540-544.
- Simpson, J. G., y R. C. Griffiths. 1971. Afloramiento y producción biológica en el Golfo de Cariaco, Venezuela. MAC, PNUD, FAO. Serie Recursos y Explotación Pesqueros, Vol. 2, No. 1.
- Smith, R. L. 1968. Upwelling. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 6: 11-46.
- Stommel, H. 1949. Trajectories of Small Bodies Sinking Slowly Through Convection Cells. Woods Hole Oceanographic Institution, Contribution No. 469.
- Strickland, J. D. H., and T. R. Parsons. 1965. A Manual of Sea Water Analysis. Fish. Res. Board of Canada, Bull. 165. Second Edition.
- Sverdrup, H. U. 1937. On the Process of Upwelling. Mar. Res. 1: 155-164.
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson, and R. H. Fleming. 1942. The Oceans, their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall Inc. N. J.
- Wooster, W. S., and J. L. Reid, Jr. 1963. Eastern Boundary Currents. In: M. N. Hill (editor), The Sea, Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas. Vol. 2, p. 253-280. Interscience Publ., N. J.