

ALGUNAS CONDICIONES DE SURGENCIA DURANTE LA  
PRIMAVERA DE 1974, PARA EL AREA ADYACENTE A PUNTA BANDA  
BAJA CALIFORNIA

por:

Ma. del Carmen Chavez de Ochoa \*  
Centro de Investigacion Cientifica y Educacion Superior de  
Ensenada, B. C.

(Recibido: Junio 3, 1976 )

\* Domicilio Actual: Scipps  
Stitution, P.O. Box 109  
La Jolla, Calif. 92093  
714-4520117

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 (18 de diciembre, 1973) y en otras en las que sí se esperaba surgencia (16 de marzo y 29 de mayo, 1974). El 18 de diciembre la distribución de los parámetros estudiados fue más o menos estratificada, por lo que se presentaron condiciones de surgencia. El 16 de marzo y 29 de mayo todos los parámetros mostraron isolíneas ascendiendo hacia la costa, condición de surgencia. El ascenso de isolíneas hacia la superficie en marzo y mayo estuvo acompañado por descenso de isolíneas por debajo de 100m., indicando quizás la presencia de una subcorriente hacia los polos asociada con surgencias. La velocidad hacia afuera de la costa, calculada en base a transportes de Ekman para el 16 de marzo, del orden de  $9 \text{ cm sec}^{-1}$ , es un valor razonable comparado con valores obtenidos para otros eventos de surgencia.

ABSTRACT

In order to know the effect of upwelling on temperature, salinity, oxygen and nitrate, samplings were done during a time when upwelling was not expected (December 18, 1973), and on a time when upwelling was expected (March 16 and May 29, 1974). On December 18th, the distribution of the parameters was more or less stratified, without the presence of upwelling. On March 16th and May 29th, all the parameters showed isolines ascending towards the coast, condition of upwelling. The ascent of

isolines below 100 m, which probably indicates the presence of a poleward undercurrent associated with upwelling. The offshore velocity, calculated from Ekman transports for the event on March 16th, of the order of  $9 \text{ cm sec}^{-1}$ , is a reasonable number compared to values obtained for other upwelling events.

## INTRODUCCION

El fenómeno de las surgencias es caracterizado por un desplazamiento del agua superficial hacia mar adentro que es reemplazada por aguas superficiales 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 (Ryther, 1971) por el hambre. (Fig. 1)

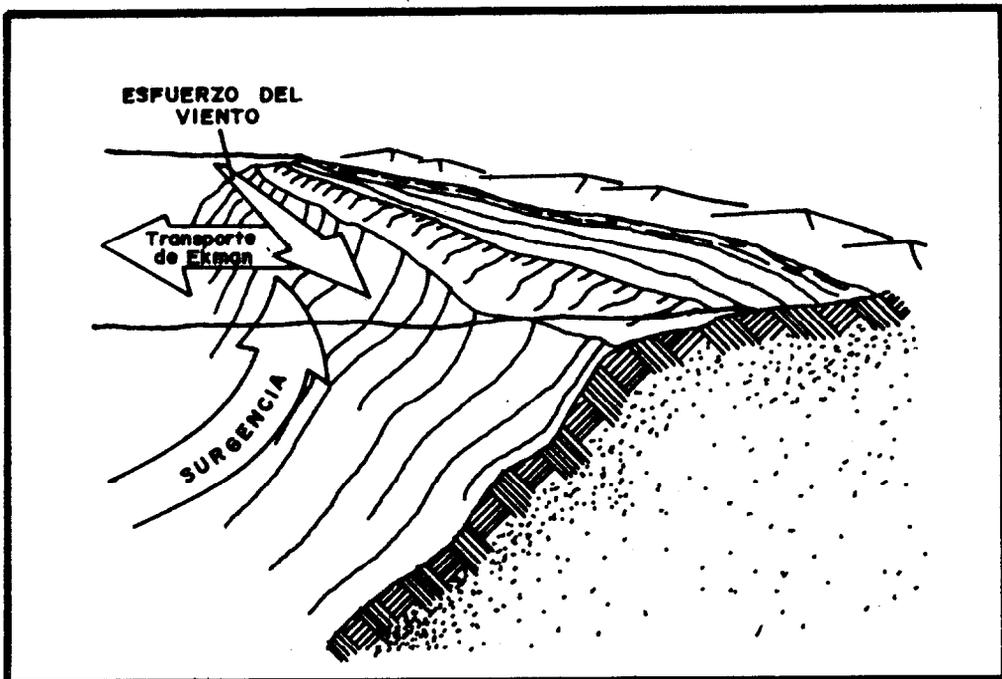


Fig. 1. Diagrama conceptual del proceso de surgencia costera. La costa del continente está representada en una vista de corte con el océano a la izquierda de la figura. El transporte hacia afuera de la costa en la capa de Ekman superficial debido al esfuerzo de viento paralelo a la costa en la superficie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

Reid (1967) identifica a las surgencias como una consecuencia de la circulación oceánica inducida por el viento, en las cuales, áreas de divergencia 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.

Según Smith (1968), una apreciación del resultado de Ekman (1905), llevó a la primera explicación física satisfactoria para surgencias. En base a dicho resultado es posible calcular el orden de magnitud de la velocidad del agua hacia afuera de la costa durante surgencia.

En general, el efecto producido por surgencia en la distribución de los parámetros físico-químicos del agua de mar, es transportar las características de aguas subsuperficiales hacia la superficie del mar. Por ejemplo, en la superficie encontramos durante surgencia intensa, menor temperatura, mayor salinidad, mayor densidad, menor oxígeno y más nutrientes en las aguas de la corriente de California.

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.

En lo que respecta a la zona de Punta Banda, 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 calcita y aragonita.

## MUESTREO Y METODOS

Para este estudio, se trazaron dos transectos casi perpendiculares a la costa de Punta Banda (31°45'N y 116°45'W), con una distancia de 3 millas náuticas entre ellos (Fig. 2). (1 milla náutica = 1' de círculo mayor). Cada transecto con 4 estaciones, a 1, 3, 6, y 10 millas náuticas (m.n.) de costa con Punta Banda y la Isla Sur de Todos Santos.

Los muestreos se llevaron a cabo el 18 de diciembre de 1973 (época en la que no se esperaba que ocurriera surgencia), y 16 de marzo y 29 de mayo de 1974 (épocas en las que sí se esperaba surgencia). Los hidrolances para las botellas Nansen fueron a 0, 10, 25, 40, 70, 100 y 130 m, y para el batitermógrafo a 140 m. Para el primer y último muestreo sólo se utilizaron las estaciones de transecto de Punta banda.

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

Esti termógrafo. Las muestras de salinidad se analizaron con un salinómetro de inducción (Kahlsico, Modelo No. 118WA200), precisión  $\pm 0.003\%$ . Para diciembre y marzo el oxígeno se determinó por el método Winkler (Strickland y Parsons, 1965), y para mayo se analizó por el método Winkler modificado de Carpenter (Marine Technician's Handbook, SIO, 1971). Se calculó porcentaje de saturación de oxígeno utilizando el nomograma de Carpenter para oxígeno.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Temperatura

Para el muestreo del 18 de diciembre (Fig. 3a), la distribución de temperatura fue más o menos estratificada y las isotermas presentaron un ligero ascenso hacia la costa. Ese ligero ascenso de isolíneas es una condición normal para la corriente de California, por lo que no se presentaron 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. 3b y 3c), es una de las características producidas por sur-

gencias, que en este caso fueron corroboradas por la distribución del resto de los parámetros estudiados. El descenso de la isoterma de  $9.5^{\circ}\text{C}$  es muy probable que sea representativo de la subcorriente, hacia los polos mencionada por Smith (1968), indicada por el 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. 6b) muestran 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. 3c) como en Punta Banda (Fig. 3b), puede ser debido a que Isla Sur presenta menor frontera al Este que Punta Banda.

El 29 de mayo, a pesar de la presencia de vientos del N con un valor medio de  $7 \text{ m sec}^{-1}$  durante 10 días anteriores al muestreo, se encuentran condiciones leves de surgencia.

### Salinidad

En la distribución de salinidad del 18 de diciembre (Fig. 4a), se observa que no se presentaron condiciones de surgencia.

El 16 de marzo (Fig. 4b y 4c) las isohalíneas ascienden marcadamente hacia la costa reafirmando condiciones de surgencia indicadas por la distribución de temperatura. Dicho ascenso es menos marcado en Isla Sur (Fig. 4c) que en Punta Banda (Fig. 4b), quizás por la razón ya expuesta.

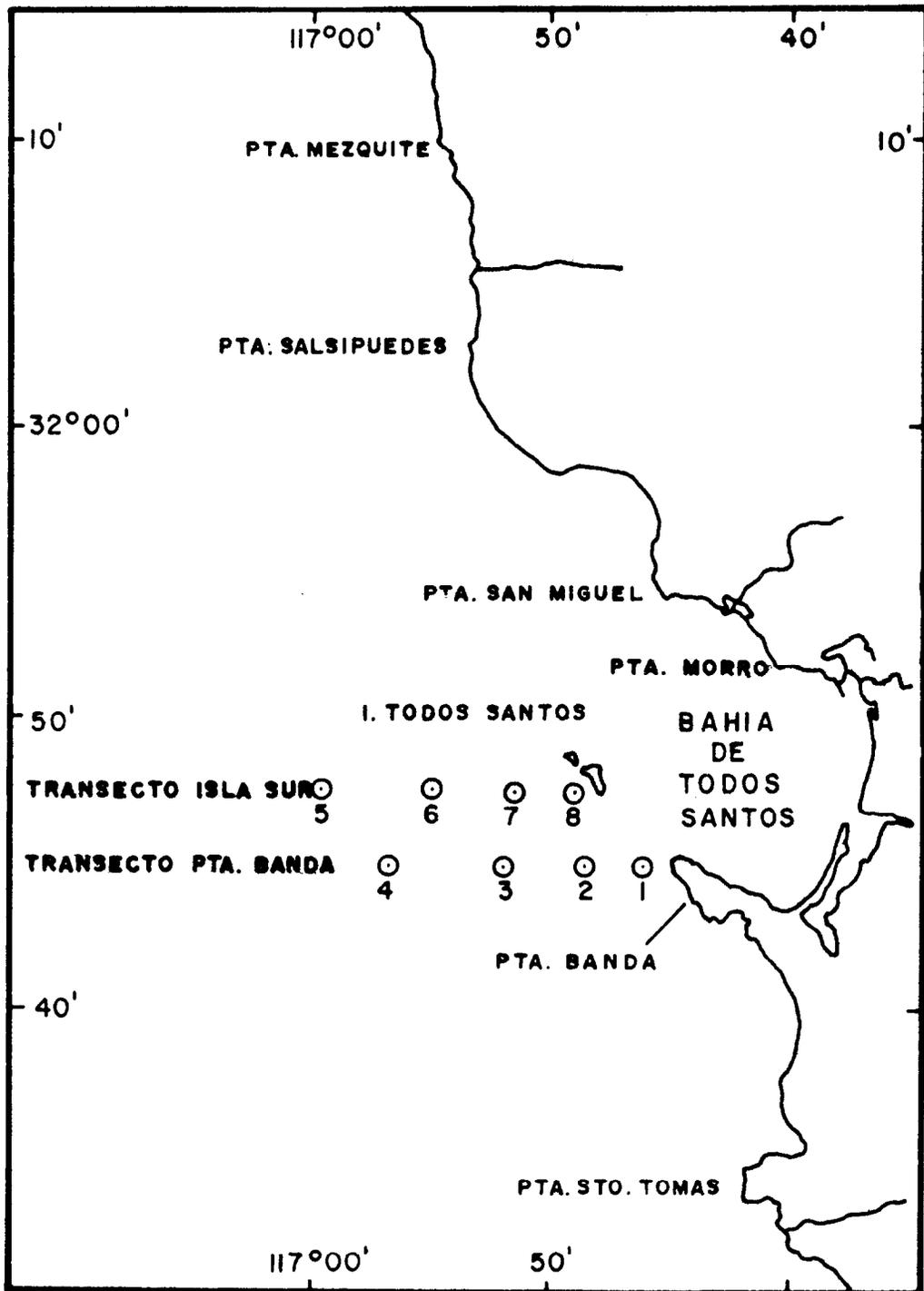


Fig. 2. Localización de las estaciones muestreadas.

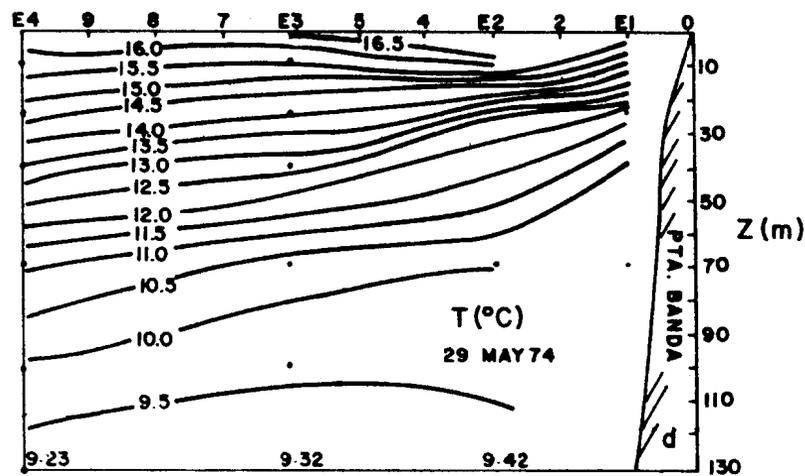
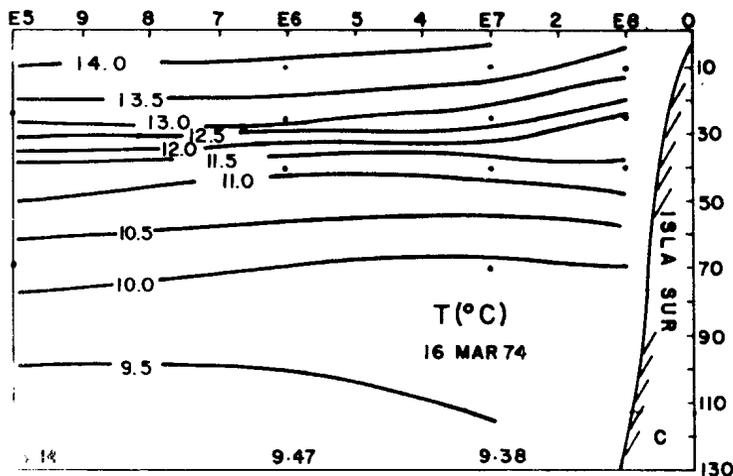
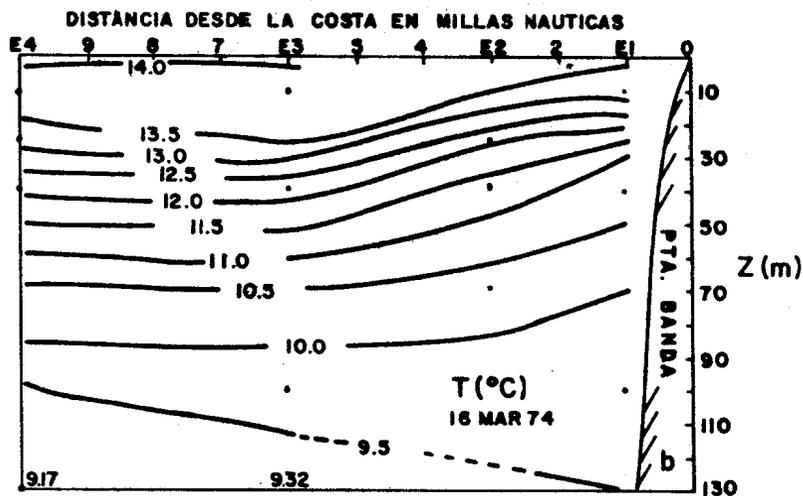
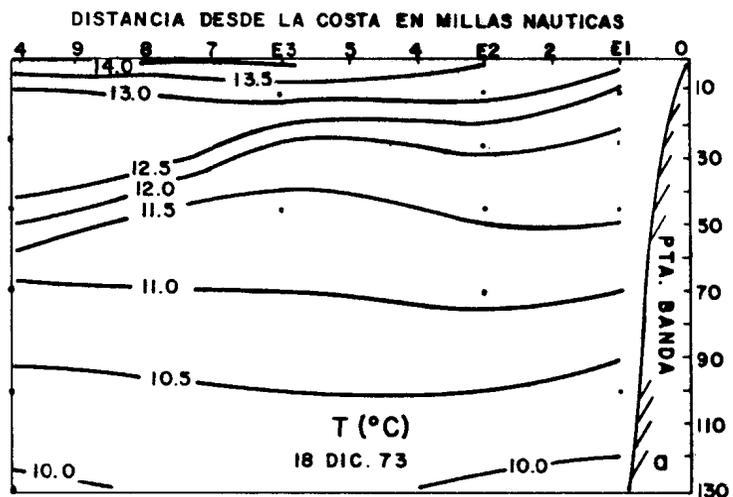


Fig. 3. Distribución vertical de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) para el transecto de : a) Punta Banda, 18 de diciembre; b) Punta Banda, 16 de marzo; c) Isla Sur, 16 de marzo; d) Punta Banda, 29 de mayo.

Z (m)

Z (m)

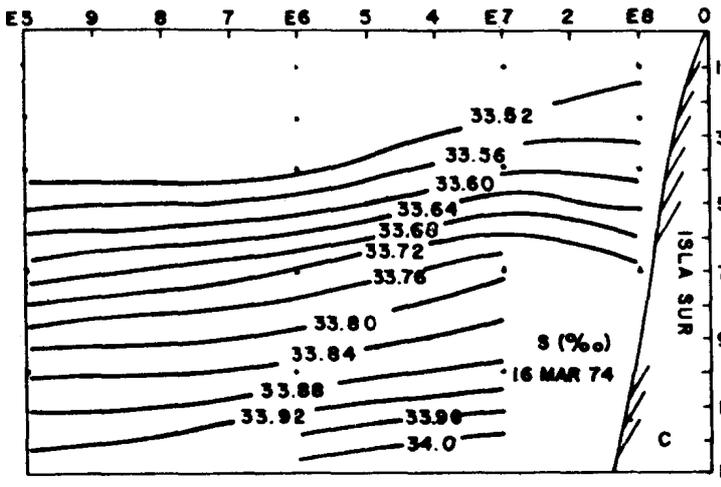
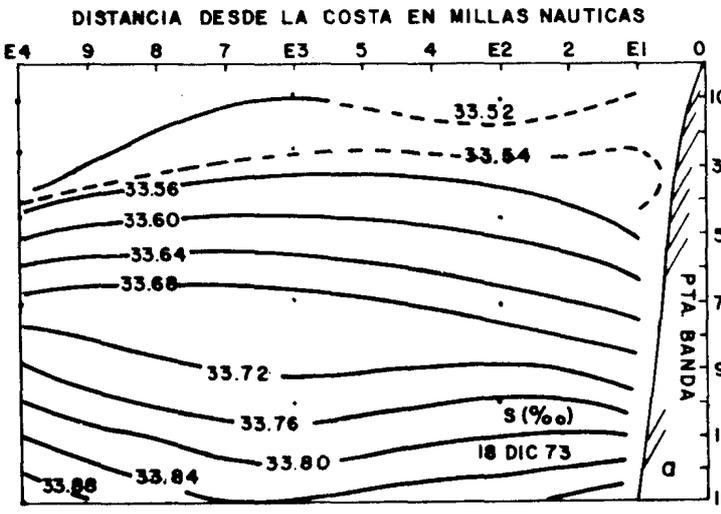
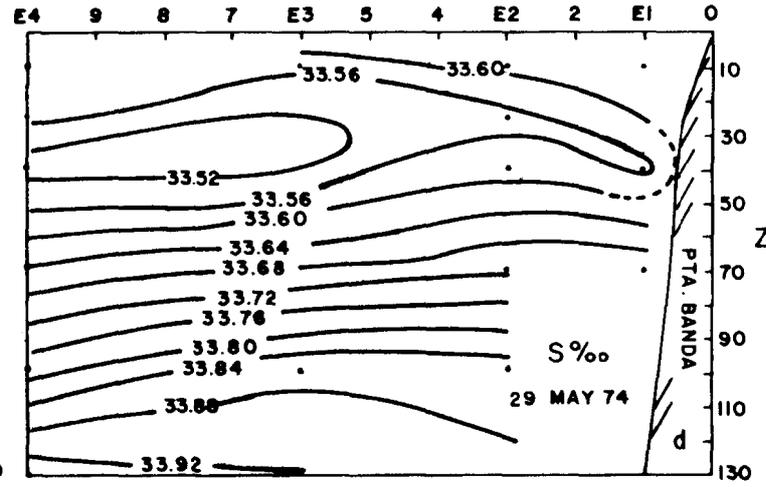
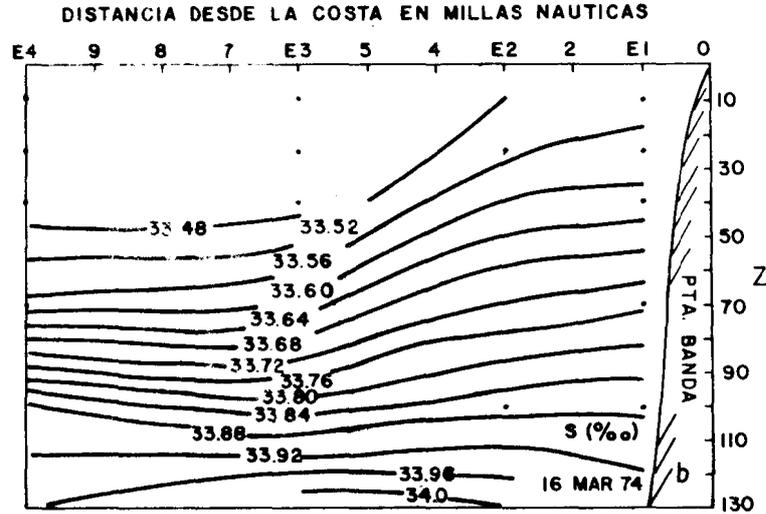


Fig. 4. Distribución vertical de salinidad (‰) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de diciembre; b) Punta Banda, 16 de marzo; c) Isla Sur, 16 de marzo; d) Punta Banda, 29 de mayo.

El 29 de mayo (Fig. 4d) la distribución superficial en forma de lenguetas y la inversión de salinidad hasta los 50 m, parece ser característico para la región durante ciertas épocas del año (discutido por Reid, 1972).

#### Densidad

El 18 de diciembre la distribución de densidad (Fig. 5a) fue más o menos estratificada, sin presentar condiciones de surgencia.

El 16 de marzo (Fig. 5b y 5c) 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 definida, pero las isopicnas indicaron un mayor gradiente vertical a 3 m.n. 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. 5d), las isopicnas mostraron también ascenso hacia la costa.

#### Oxígeno

La distribución de oxígeno para el 18 de diciembre (Fig. 6a) 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 16 de marzo (Fig. 6b y 6c), los máximos observados en Punta Banda e Isla Sur, a 3 m.n. de la costa, indican la actividad fotosintética del fitoplancton, que de acuerdo a Laurs (1967) tiende a agruparse durante procesos de surgencia entre el frente ocasionado por el corte de la picnoclina con la superficie del mar, y la costa.

El 29 de mayo (Fig. 6d) la distribución de oxígeno mostró isolíneas ascendiendo hacia la costa y un fuerte gradiente vertical cercano a la costa, que sugiere una fase de surgencia más avanzada que en marzo. Además, la inversión observada a 6 m.n. 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. En 1971 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 m.n. (1852 m) de la costa, el 29 de mayo de 1974. Esto sólo da una idea de los diferentes efectos de surgencia en diferentes épocas, debidas a las condiciones de los factores que las ocasionan.

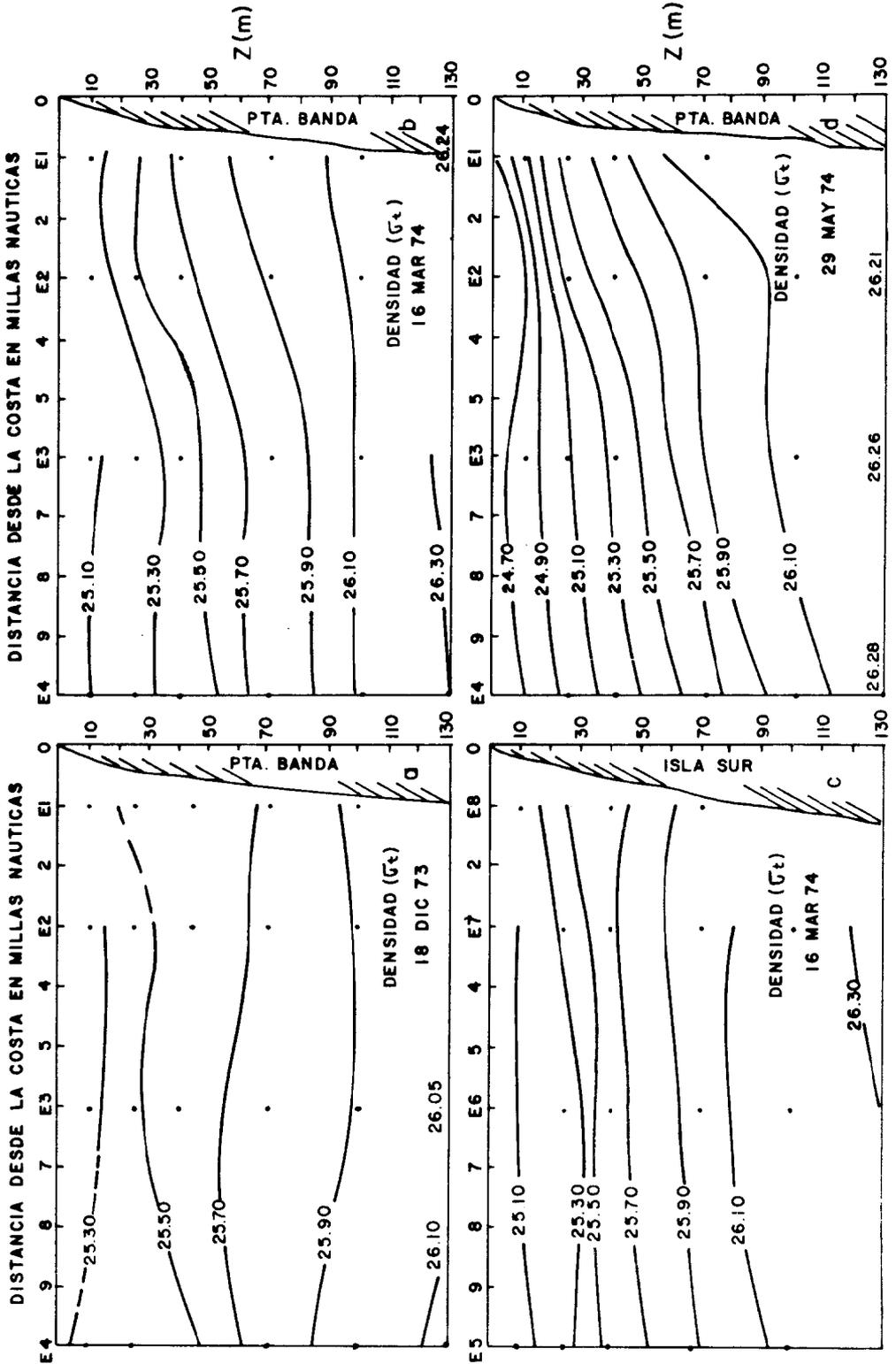


Fig. 5. Distribución de densidad ( $\sigma_t$ ) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de diciembre; b) Punta Banda, 16 de marzo; c) Isla Sur, 16 de marzo; d) Punta Banda, 29 de mayo.

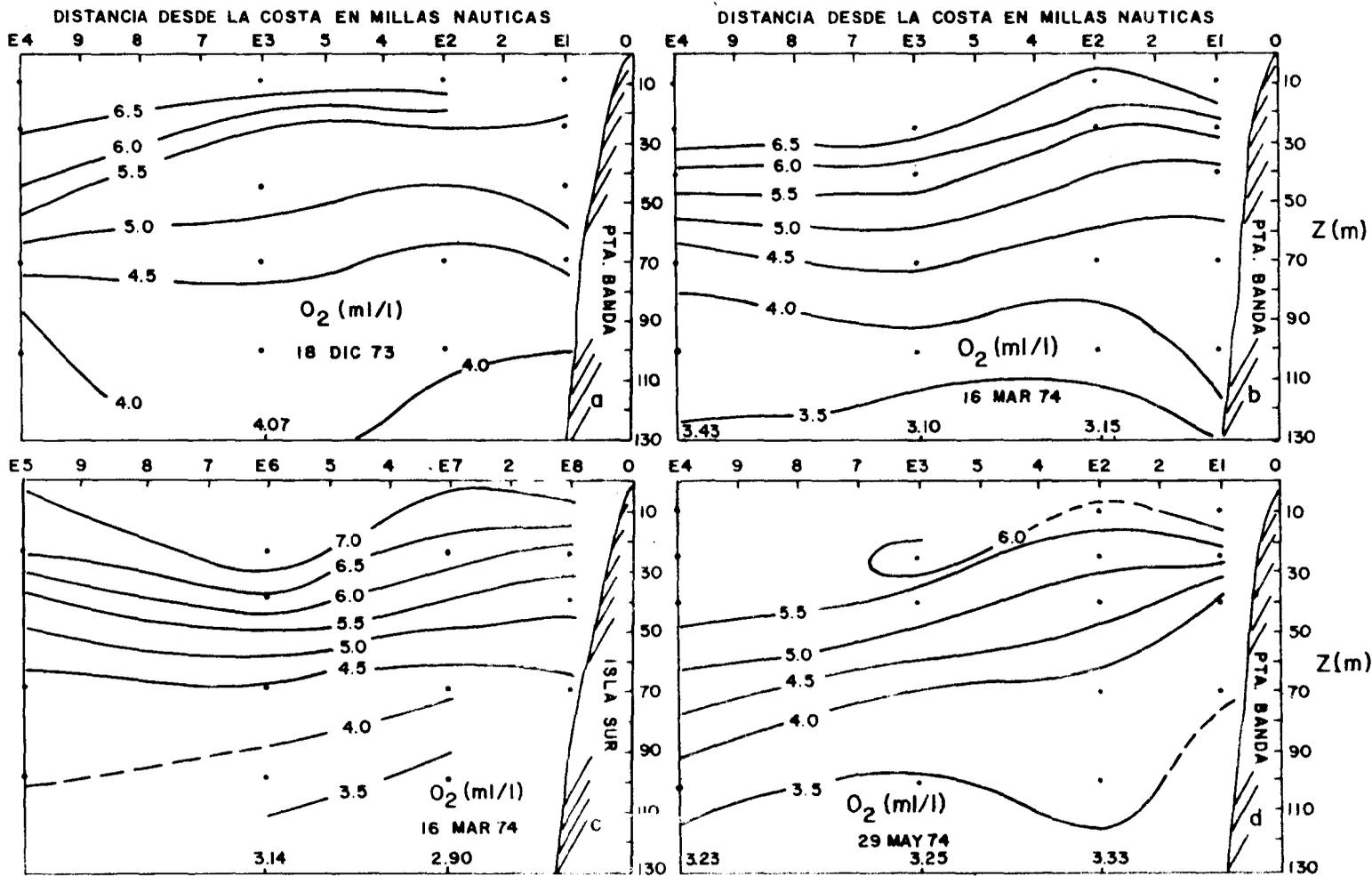


Fig. 6. Distribución vertical de oxígeno (ml/l) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de diciembre; b) Punta Banda, 16 de marzo; c) Isla Sur, 16 de marzo; d) Punta Banda, 29 de mayo.

El porcentaje de saturación de oxígeno no varió mucho entre los 3 muestreos, lo cual es común en aguas de la Corriente de California, ya que según Wooster y Reid (1963), no sufren de un descenso fuerte en el porcentaje de saturación de oxígeno durante épocas de surgencia, a diferencia de otras zonas de surgencia.

### Nitratos

El 18 de diciembre (Fig. 7a), el máximo de  $20 \mu\text{M}$  encontrado entre 95 y 115 m, responde quizás por el mínimo de oxígeno (Fig. 6a) encontrado a tal profundidad, ya que al haber mayor formación de nitratos 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. 6a) presenta menor cantidad de nitratos (Fig. 7a).

El 16 de marzo en Punta Banda (Fig. 7b), la distribución de nitratos presentó isolíneas ascendiendo hacia la costa, característica de de surgencia. El rango encontrado fue mayor en marzo que en diciembre (Fig. 7a), 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 intervalo de tiempo entre el muestreo de estaciones.

El 29 de mayo (Fig. 7d), el fuerte gradiente vertical de  $14 \mu\text{M}$  en 30 m encontrado entre 10 y 40 m, a 1 m.n. 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 velocidad hacia afuera de la costa, calculada en base a transportes de Ekman para el evento del 16 de marzo, considerando una capa de mezcla de 20 m (profundidad de la termoclina), resultó del orden de  $9 \text{ cm sec}^{-1}$  siendo éste un valor razonable.

Y la velocidad ascendente para el mismo evento, calculada en base a desplazamiento de isopícnas entre diciembre y marzo, resultó del orden de  $2 \times 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$ , siendo un valor bajo, lo cual se debe al gran intervalo de tiempo transcurrido entre los muestreos, ya que con tal intervalo, los resultados sólo nos indican cambios estacionales.

### CONCLUSIONES

A pesar de no haber llevado a cabo los muestreos a intervalos de 3 a 10 días, que es el tiempo de formación de surgencias, podríamos considerar a las condiciones encontradas en marzo como una fase inicial de surgencia, debido a que no es evidente un corte de la picnoclina con la superficie del mar.

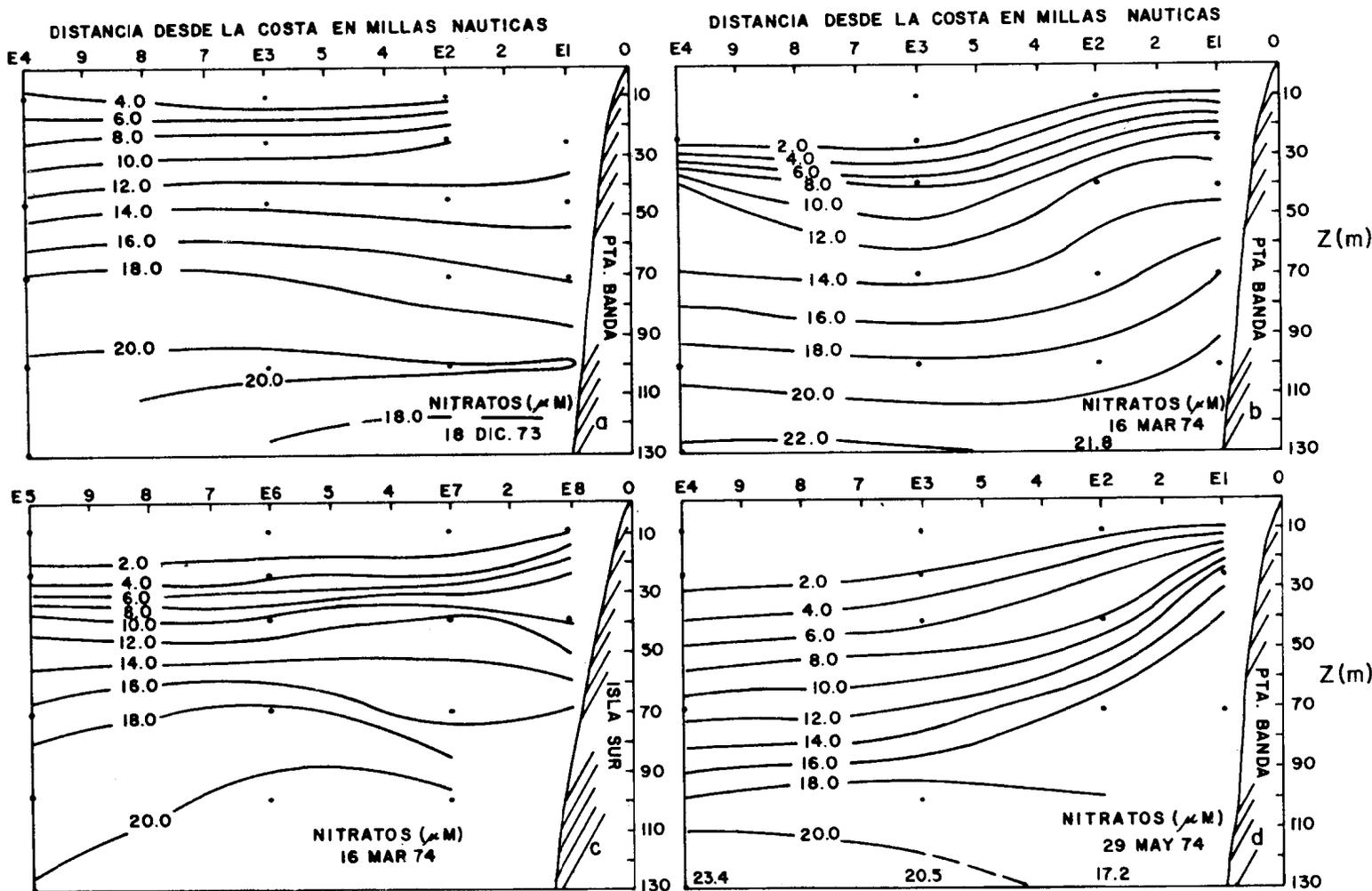


Fig. 7. Distribución vertical de nitratos ( $\mu$ M) para el transecto de: a) Punta Banda, 18 de diciembre; b) Punta Banda, 16 de marzo; c) Isla Sur, 16 de marzo; d) Punta Banda, 29 de mayo.

El 29 de mayo, a pesar de la presencia de vientos del N con un valor medio de  $7 \text{ m sec}^{-1}$  durante 10 días anteriores al muestreo, se encuentran condiciones leves de surgencia.

El ascenso de isolíneas hacia la superficie en marzo y mayo es acompañado por descenso de isolíneas por debajo de 100 m, indicando probablemente la presencia de una subcorriente hacia los polos asociada con surgencias.

El fuerte gradiente vertical de 10 M en 15 m encontrado en la superficie, en mayo, puede indicarnos que la zona de Punta Banda recibe buen aporte de nitratos durante surgencias.

La velocidad hacia afuera de la costa, calculada en base a transportes de Ekman para el 16 de marzo, del orden de  $9 \text{ cm}^{-1} \text{ sec}$ , es un valor razonable comparado con valores obtenidos para otros eventos de surgencia.

#### AGRADECIMIENTOS

Sería muy larga la lista de personas que de una manera u otra hicieron posible este trabajo.

En general, agradezco al Dr. Nicolás Grijalva la dirección inicial de este trabajo. Al M.C. Luis G. Alvarez la dirección final del mismo. A varios investigadores y alumnos de la Institución de Oceanografía Scripps, así como del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C. (CICESE), en especial al Dr. Eric D. Barton por valiosas correcciones al escrito final. A algunos maestros y compañeros de la Escuela Superior de Ciencias Marinas, y a algunos amigos por valiosas sugerencias y ayuda durante muestreos y análisis.

Este estudio se realizó en el CICESE y se presentó en una versión más amplia, como trabajo de tesis para la obtención del título profesional de Oceanólogo, en la Escuela Superior de Ciencias Marinas de la U.A.B.C.

#### BIBLIOGRAFIA

- Bakun, A. y C. Nelson. 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 Higuera School of Marine Sciences, Ensenada, Baja California, 16-22 February 1975.
- 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.
- Ekman, V. W. 1905. On the influence of the earth's rotation on ocean currents. Reprinted from Arkiv for 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 Oceanographic 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.
- 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. 1973. The Shallow Salinity Minimum of the Pacific Ocean. Deep Sea Research, 2(1):51-68.
- Ryther, J.H. 1971. Photosynthesis and Fish Production on the Sea. In: Readings in Mar. Ecol. 540-544.
- Smith, R. L. 1968. Upwelling. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 6: 11-46.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1965. A Manual of Sea Water Analysis. Fish. Res. Board of Canada, Bull. 165. Second Edition.
- 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.