

VARIACIONES VERTICALES Y SU RELACION CON ALGUNOS PARAMETROS FISICO - QUIMICOS EN UNA ESTACION FIJA EN EL AREA EXTERNA DEL GOLFO DE GUAYAQUIL

Por:

JOSE CHIRIGUAYA (1)

LUIS BURGOS (1)

RESUMEN

Las variaciones hidroquímicas (oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato) fueron estudiadas durante 12 horas con intervalos de aproximadamente 3 horas en una estación fija situada frente al Golfo de Guayaquil entre las coordenadas 02° 59' 42 S - 81° 40' 92 W. La máxima profundidad en la que se efectuó dicho análisis fue hasta los 50 metros.

Se ha detectado una posible relación entre las variaciones verticales (Ondas Internas) y los parámetros físico - químicos, ya que las fluctuaciones de ascensos y descensos fueron observadas en las concentraciones de oxígeno y nutrientes, siendo las ondas internas un factor preponderante en los movimientos verticales de éstos. Estas fluctuaciones también fueron encontradas en el comportamiento de la temperatura, salinidad y densidad en función de tiempo y profundidad.

En forma general se observó que los mayores valores de nutrientes fueron encontrados en condiciones de luz, no así el oxígeno cuyas mayores concentraciones se ubicaron en la noche.

Además se evidenció en el área externa del Golfo de Guayaquil la influencia de la Corriente de Humboldt que para ésta época se intensifica, presentando rangos físico - químicos característicos.

ABSTRACT

Hydro-chemicals variations (dissolved oxygen, nitrate, phosphate and silicate) were studied during 12 hours with a 3 hours intervals approximately at a fix station located in front of the Guayaquil Gulf between 02° 59' 42"S - 81° 40' 92"W.

A possible relationship between verticals variations (Internal-Waves) and phisical - chemicals parameters has been determinated, principally due to the observed fluctuation of nutrients and oxygen concentrations, being the internal waves a preponderant factor in the nutrient verticals movements. This fluctuations also have been observed in temperature, salinity and density parameters, in function of time and depth.

In general, the major nutrients values have been found in light conditions, not so the highest oxygen concentration that have been found during the night.

Moreover, an evidence of the influence of the Humboldt Current in the external area of the Guayaquil Gulf have been determinated, during this time current is strong, introducing determining physicals and chemicals characteristics.

INTRODUCCION

Los datos que se han considerado para el presente artículo corresponden a niveles estandares desde 0 a 50 metros, obtenidos durante el crucero CO-1-88 (agosto 8 - 30) realizado a bordo del Buque de Investigación ORION, del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador.

Se pretende encontrar en este trabajo las posibles relaciones existentes entre los parámetros físicos - químicos con las ondas internas, poniéndose un mayor énfasis en lo que corresponde a las variables químicas, en especial los nutrientes (nitratos-fosfatos-silicatos), conociendo además las dificultades que se presentan debido a factores interrelacionados que suelen actuar al mismo tiempo, tales como la luz, procesos bioquímicos y migraciones plantónicas. Para analizar estas variaciones, se efectuaron mediciones durante 12 horas en la estación fija correspondiente al área externa del Golfo de Guayaquil.

AREA DE ESTUDIO Y FRECUENCIA DE MUESTREO

El área de estudio (Estación Fija) se ubica entre las coordenadas $02^{\circ} 59' 42'' S - 81^{\circ} 40' 92'' W$. (Fig. 1). Se efectuaron diferentes períodos de muestreo con intervalos aproximadamente de 3 horas y niveles estandares de 0 - 10 - 20 - 30 - 40 - 50 metros de profundidad.

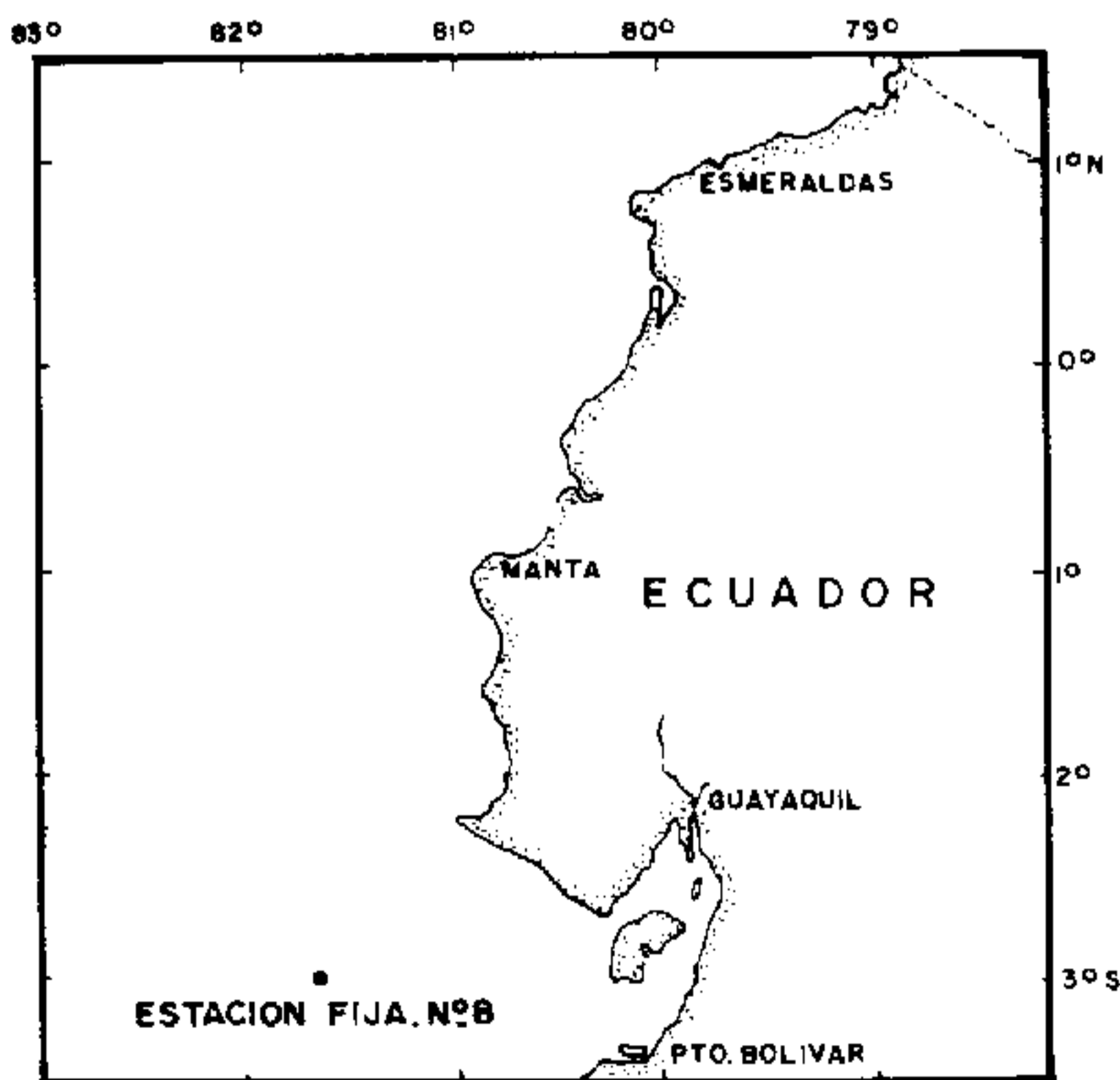


Fig. 1.- Ubicación geográfica de la Estación Fija estudiada.

METODOLOGIA UTILIZADA

Los métodos más conocidos para estudiar ondas internas son:

- Registros de temperatura del agua de mar durante largos períodos tomados simultáneamente en diferentes profundidades.
- Registros acústicos que se obtienen a las profundidades de los niveles de dispersión del sonido.
- En el crucero CO-1-88 a bordo del B/I BAE ORION, se utilizó una Roseta General Oceanic, botellas Niskin de 1,7 litros y un CTD 9040 Grundy. Para determinar la salinidad se aplicó el método de conductividad eléctrica, para el oxígeno disuelto el método de Winckler y para los micronutrientes el método descrito en el manual de Strickland y Parsons (1972).

RESULTADOS

En los párrafos siguientes se analizan los perfiles y secciones verticales de los parámetros físicos (temperatura, salinidad y densidad) y químicos (oxígeno, nitrato, fosfato y silicato).

PERFILES VERTICALES:

TEMPERATURA.- Tal como se observa en la Fig. 2, este parámetro presenta una capa de mezcla que oscila entre 0 y 20 metros, encontrándose un máximo de $17,90^{\circ}C$ (13h) y un mínimo de $17,0^{\circ}C$ (10h), la presencia de esta capa de mezcla se mantuvo durante el tiempo en que se realizaron las mediciones en dicha estación.

En el nivel de 30 metros, la temperatura descende más acentuadamente a las 02h., mientras que en las mediciones de 07h-10h-13h lo hace en forma gradual, observándose que los valores fluctúan entre $16^{\circ}C$ (07h) y $14,9^{\circ}C$ (02h).

En la capa de 40 a 50 metros los valores se muestran relativamente homogéneos con un máximo de $14,9^{\circ}C$ y un mínimo de $14,8^{\circ}C$.

La termoclina sufre marcados ascensos y descensos en los diferentes intervalos de tiempo en que se efectuaron las mediciones, localizándose aproximadamente entre los 20 y 40 metros.

SALINIDAD.- Este parámetro al igual que la temperatura, presenta una capa homogénea entre 0 y 20

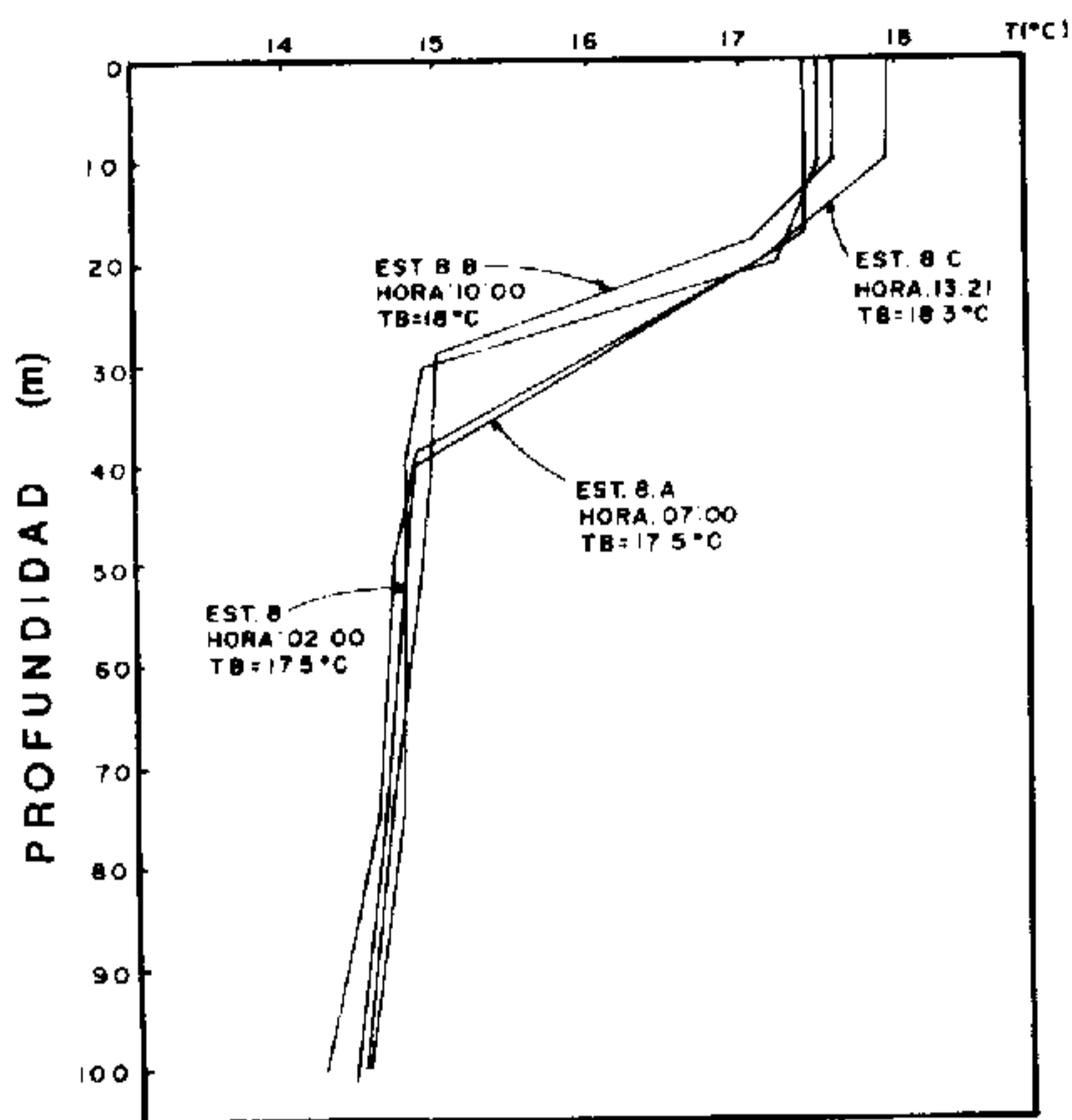


Fig. 2.- Perfil de Temperatura vs. Profundidad.

metros en todas las observaciones realizadas, con un promedio total de $34,9S \times 10^{-3}$. (Fig. 3) y entre 30 y 40 metros tienden a incrementarse, fluctuando entre $34,4$ y $35,0S \times 10^{-3}$. La haloclina se ubica entre los niveles 20 y 30 metros presentando un mayor gradiente a las 02h.

OXIGENO.- En su variación vertical (Fig. 4), presentó durante la noche (02h) una capa comprendida entre 0 y 20 metros de profundidad, con un valor promedio de 4,4 ml/L., esta capa se mantuvo en la misma profundidad durante los distintos períodos de muestreo, pero con valores un tanto menor en las horas diurnas, tal es así que en las primeras horas del día (07h-10h) su valor promedio fue de 4,1 ml/L y a las 13h es de 4,2 ml/L. Se puede observar que, aunque este parámetro depende en gran parte de la actividad fotosintética (Luz), los mayores valores se localizan en la noche, probablemente por la presencia de los vientos que para las 02h fueron de mayor intensidad (20 nudos), produciendo la mezcla océano - atmósfera en el nivel superficial, no así en las restantes observaciones realizadas a las 07h, 10h y 13h en donde sus respectivas velocidades fueron menores (6 - 8 - 12,5 nudos).

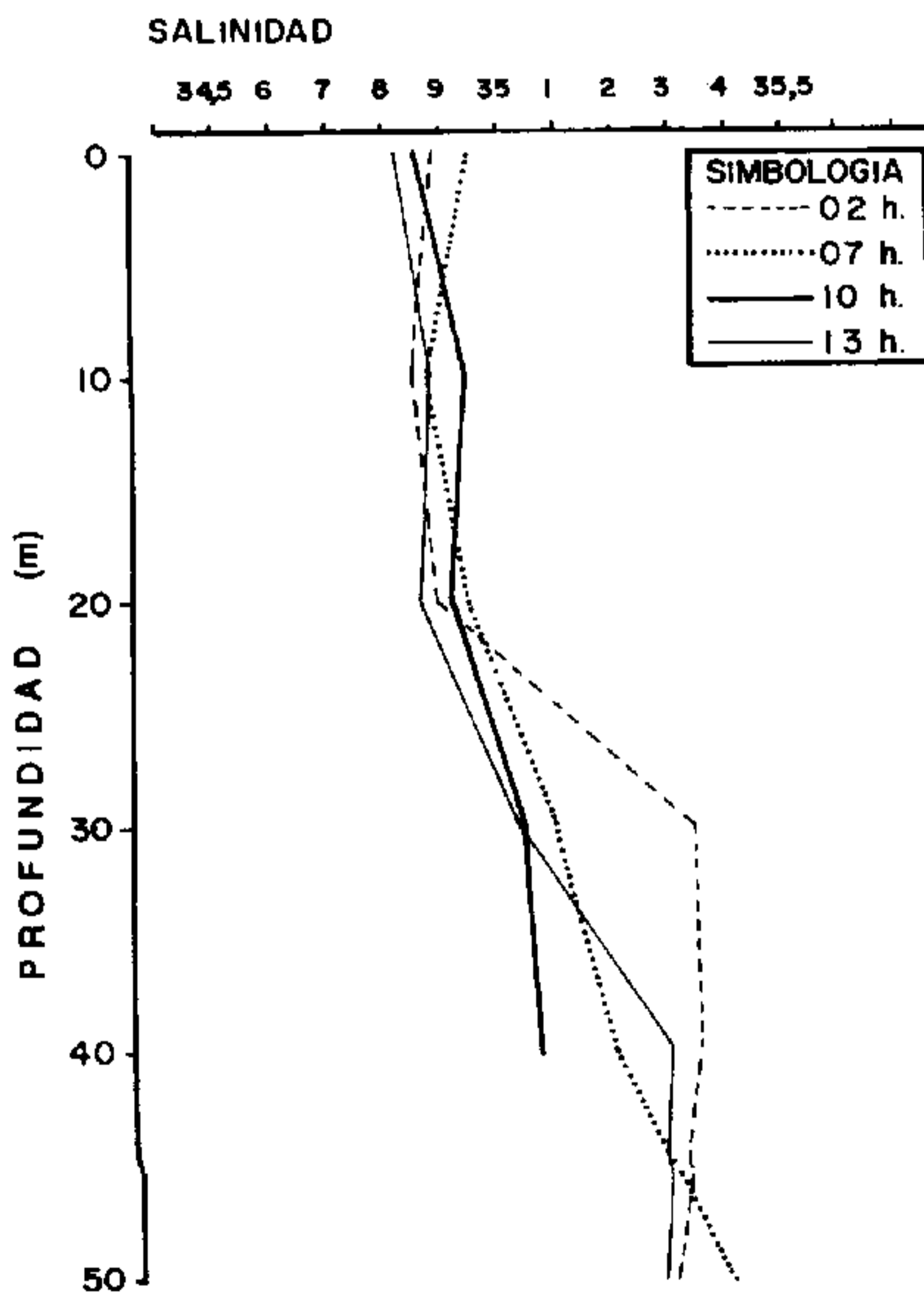


Fig. 3.- Perfil de Salinidad vs. Profundidad.

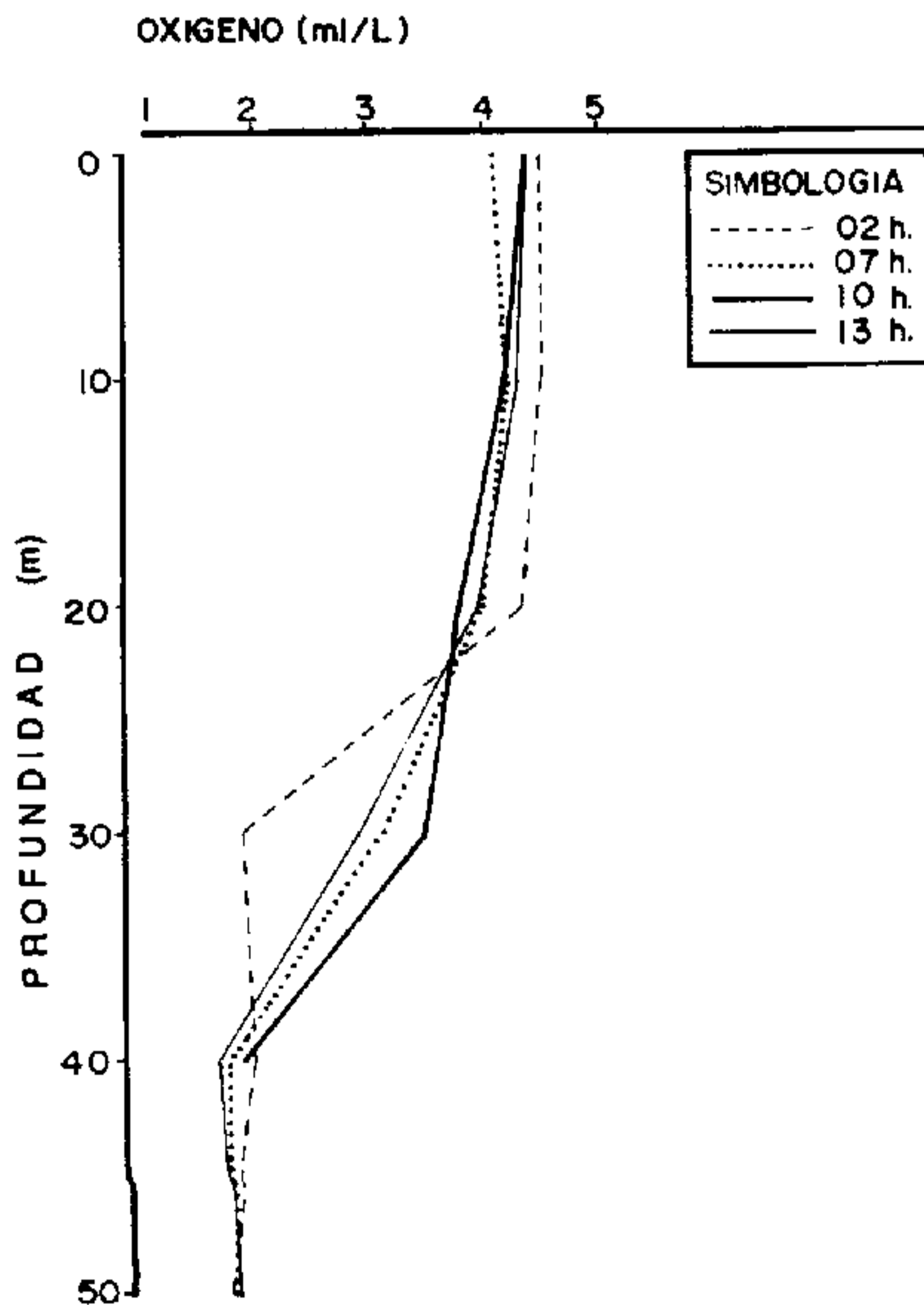


Fig. 4.- Perfil de Oxígeno Disuelto vs. Profundidad.

A los 30 metros, el comportamiento vertical del oxígeno presenta un valor de 1,86 ml/L en la noche (02h) para luego incrementarse bruscamente en el día, con un promedio de 3,2 ml/L, coincidiendo con la actividad fotosintética.

Entre los niveles 40 y 50 metros, los valores son bastantes homogéneos, presentando un valor promedio total de 1,84 ml/L, apreciándose también una diferencia positiva pero poco significativa de 0,07 ml/L entre la noche y el día.

En forma general, las condiciones verticales del oxígeno disuelto disminuyen conforme aumenta la profundidad, notándose una oxiclina bien definida y con un gradiente de 2,4 ml/L entre los 30 y 40 metros a las 02h, no así, las 07h - 10h - 13h donde la oxiclina tuvo un gradiente menos marcado.

NITRATO.- Este elemento constituye la reserva principal del nitrógeno en el mar, pudiendo ser asimilado tanto en la luz como en la oscuridad (Harvey, 1953). Su variación vertical en esta estación fija (Fig. 5), presenta a 0 metros concentraciones entre 6,32 ug-

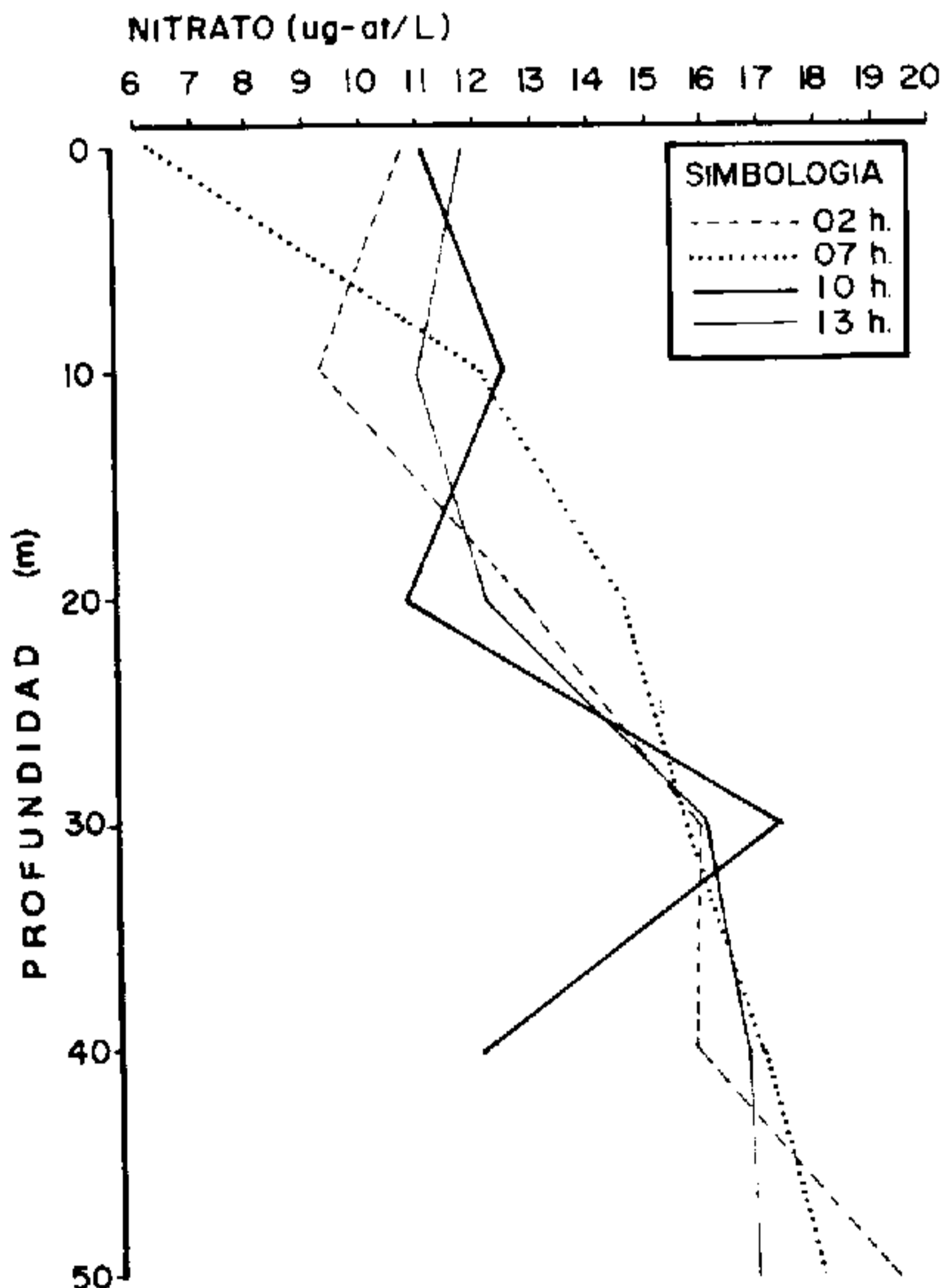


Fig. 5.- Perfil de Nitrato vs. Profundidad.

at/L (07h) y 11,84 ug-at/L (13h) con un promedio total de 9,99 ug-at/L, observándose una diferencia de 1,18 ug-at/L entre ambas condiciones (Nocturna 02h - Diurna 13h).

En la capa de 10 a 20 metros, los valores de este ión fluctúan entre 14,57 ug-at/L (07h) y 9,34 ug-at/L (02h), dando un promedio total de 11,92 ug-at/L y una diferencia entre ambas condiciones de 0,516 ug-at/L.

Entre los 30 y 50 metros, las concentraciones de este parámetro son relativamente homogéneas, existiendo un promedio total de 16,84 ug-at/L.

Es evidente que los valores encontrados en las mediciones realizadas en condiciones de luz (07h - 10h - 13h), como de oscuridad (02h), no presentan un comportamiento definido en su variación con relación a la actividad fotosintética, ya que dichos valores tienden a fluctuar en toda la columna de agua, no pudiéndose observar si los mayores valores se localizan en el día o la noche.

FOSFATO.- La única forma mineral de fósforo en el mar es el ión fosfato que es utilizado por el fitoplancton tanto en el día como en la noche. El estudio de su distribución vertical (Fig. 6), para esta estación se observa que a 0 metros presenta el máximo de 0,82 ug-at/L (02h - 07h) y el mínimo de 1,33 ug-at/L (10h - 13h) con un promedio total de 1,14 ug-at/L.

En el nivel de 10 metros los valores de este ión tienen un comportamiento casi homogéneo con un promedio total de 1,03 ug-at/L.

A los 20 metros, el promedio total de este parámetro es de 1,26 ug-at/L.

En la capa comprendida entre los niveles de 30 a 50 metros el comportamiento de este elemento es relativamente homogéneo con un valor promedio de 1,62 ug-at/L. Es notorio la existencia de un gradiente positivo en toda la columna de agua entre la noche (02h) y las primeras horas del día (07h) acentuándose más a los 20 metros y entre los 40 y 50 metros. Los valores más altos se localizaron durante el día (07h - 10h - 13h).

SILICATO.- En el perfil vertical de las diferentes mediciones (Fig. 7), se encontraron valores que fluctuaron entre un máximo de 19,91 ug-at/L localizado a 40 metros (07h) y un mínimo de 8,05 ug-at/L ubicado a los 10 metros (02h), apreciándose al igual que en el fosfato, la existencia de un gradiente positivo entre la noche (02h) y la primera hora del día (07h) en toda la

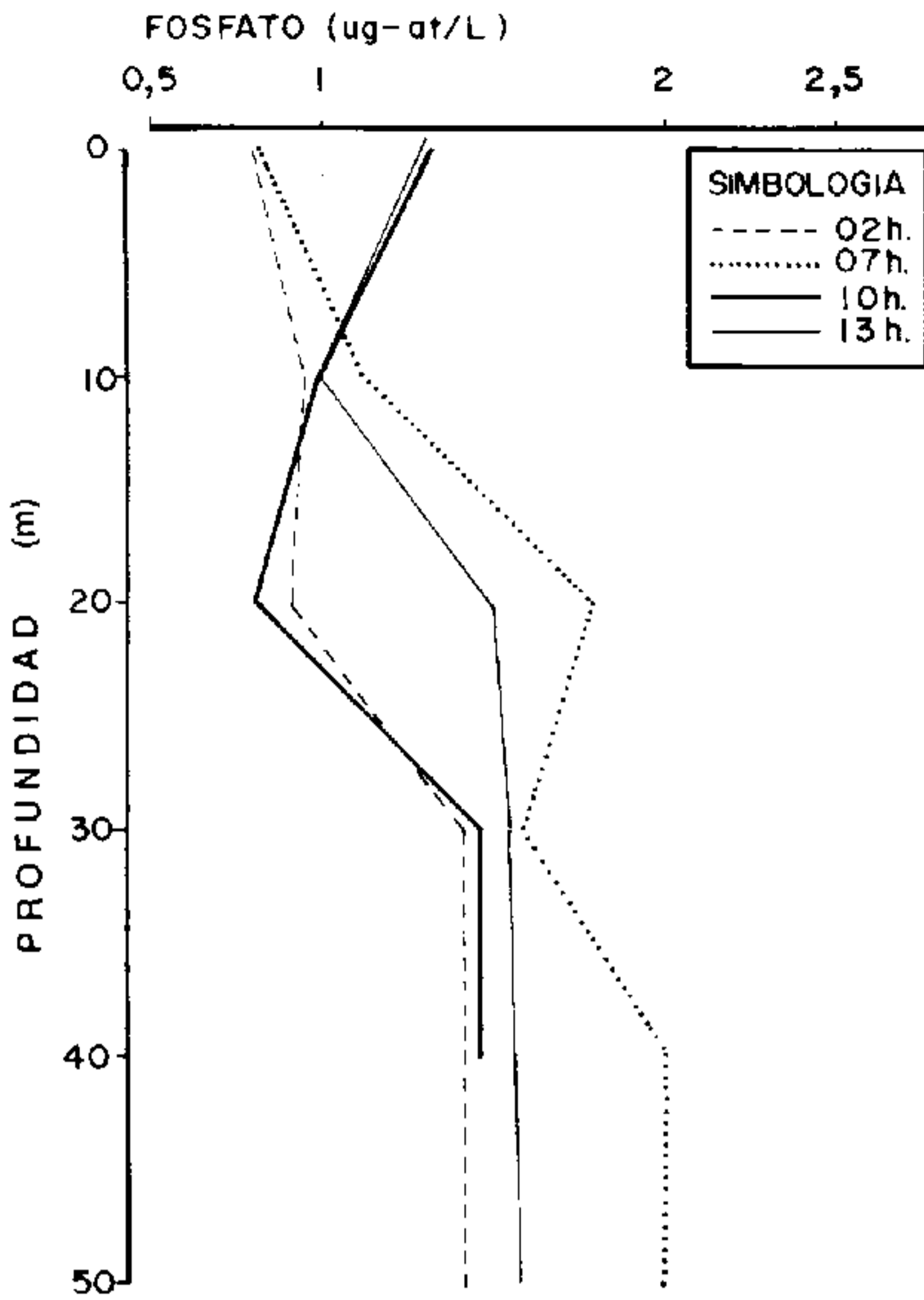


Fig. 6.- Perfil de Fosfato vs. Profundidad.

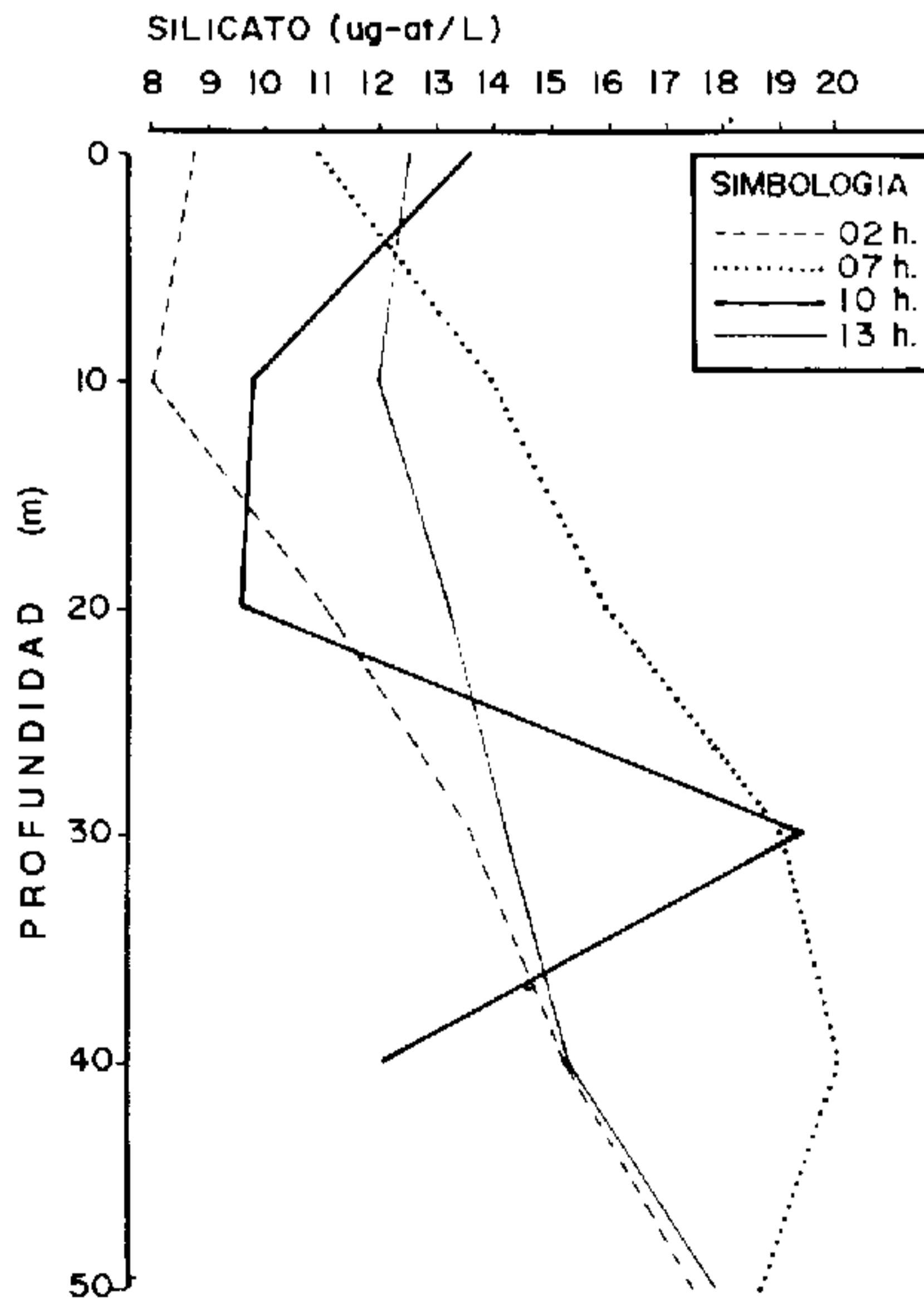


Fig. 7.- Perfil de Silicato vs. Profundidad.

columna de agua analizada, incrementándose entre los 10 y 40 metros de profundidad. En forma general los mayores valores se ubican en condiciones de luz.

SECCIONES VERTICALES:

La variación de la concentración de nutrientes a un nivel fijo, producida por el desplazamiento vertical a causa de ondas internas, fue puesta de relieve por Armstrong y La Fond (1966).

El presente análisis de la variación de la concentración de nutrientes y oxígeno, son referidos a una Isopicna y concentración determinada y no a un nivel fijo (Fraga, 1977).

Es necesario aclarar que en esta estación, se ha realizado un estudio de ondas internas basándose en en los datos de temperatura y salinidad (Chiriguaya, 1989), donde se observó la formación de un paquete de isolíneas de distinto valor, localizadas entre los 10 y 30 metros, produciéndose ascensos y descensos en función de la profundidad y del tiempo, debido a la presencia de perturbaciones ondulatorias (Figs. 8 y 9), lo que se nota también fácilmente en las Isopicnas ubicadas en el mismo nivel aproximadamente (Fig. 10).

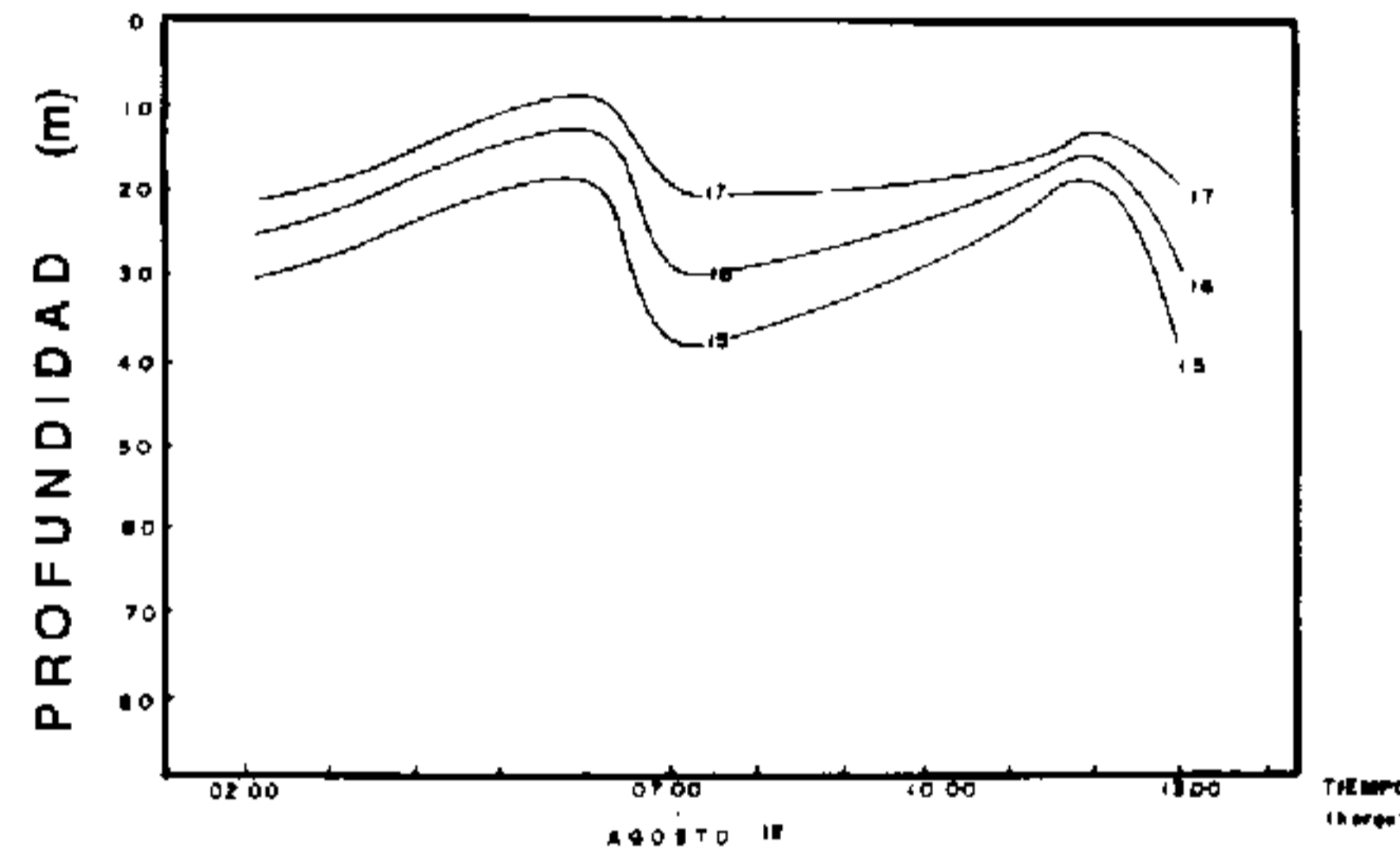


Fig. 8.- Sección de Temperatura en función de Tiempo y Profundidad.

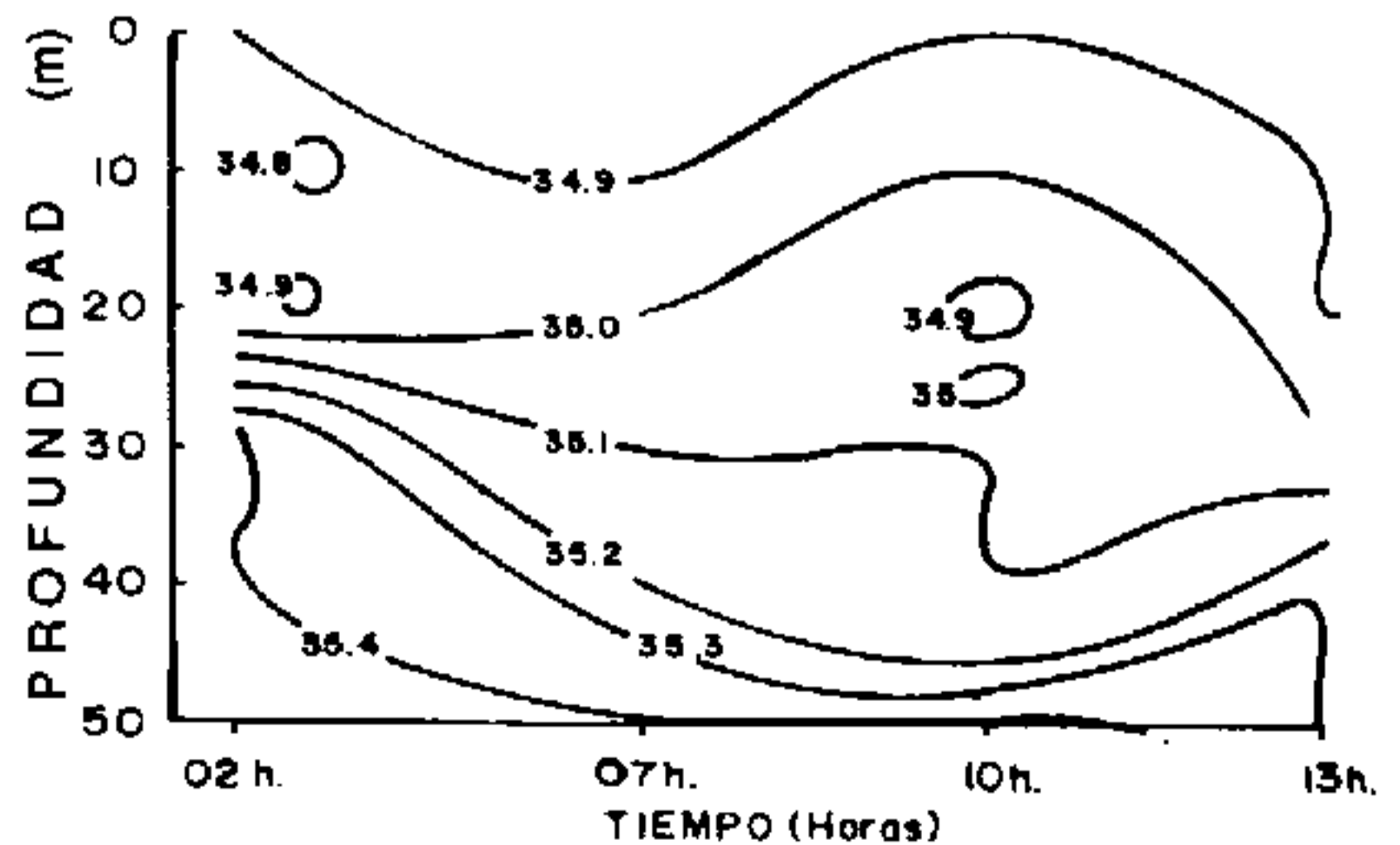


Fig. 9.- Sección de Salinidad en función de Tiempo y Profundidad.

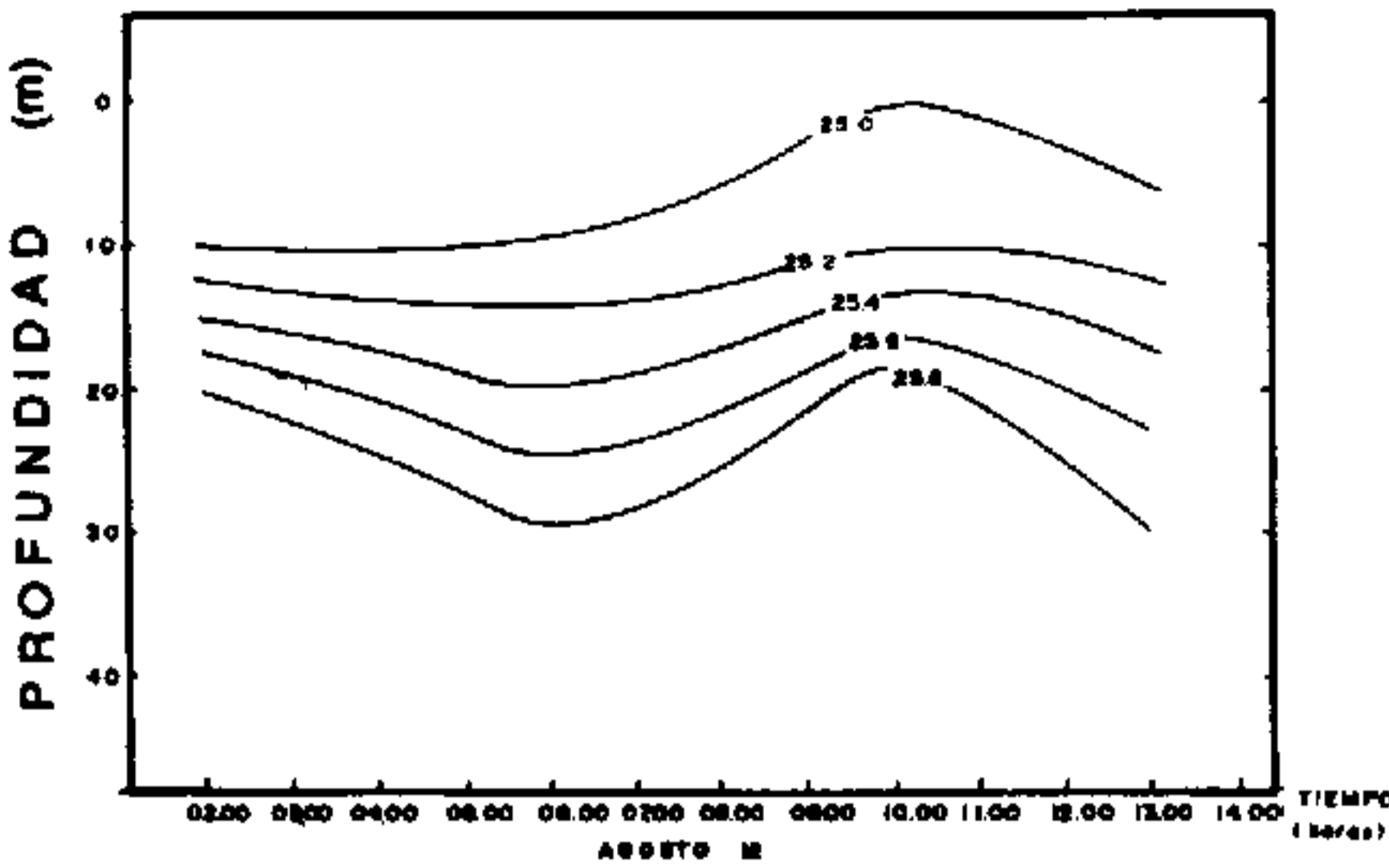


Fig. 10.-Sección SIGMA-T en función de Tiempo y Profundidad.

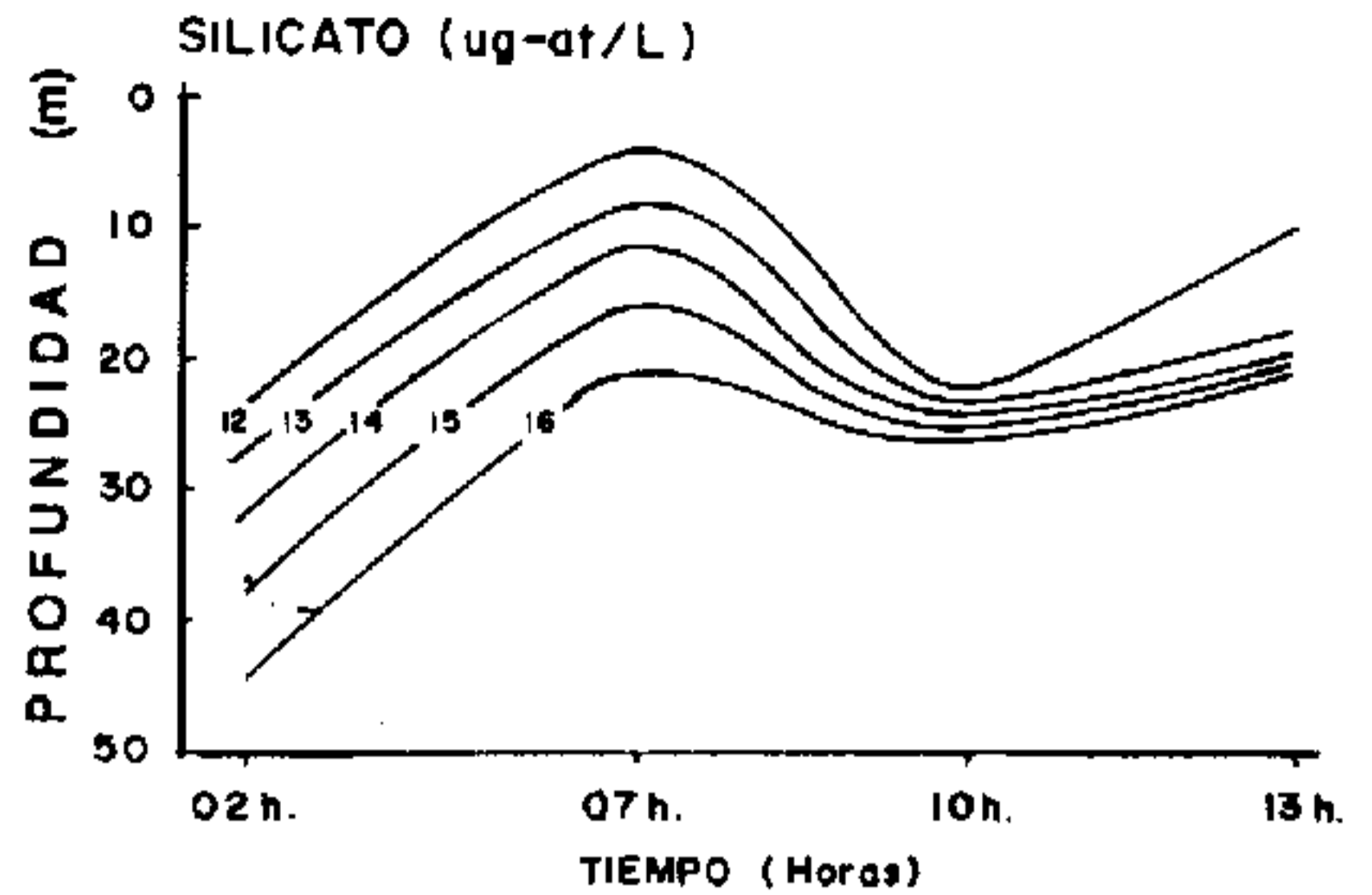


Fig. 13.-Sección de Silicato en función de Tiempo y Profundidad.

Un patrón similar ocurre con los nutrientes (Figs. 11, 12 y 13) y oxígeno (Fig. 14), donde también se observa un tren de Isopletas con diferentes concentraciones, situadas entre los 10 y 30 metros; es decir, que éstas presentan fluctuaciones verticales en tiempo y profundidad. Además, las crestas y los senos de éstos parámetros en las isóneas tienen un comportamiento similar en la columna de agua analizada.

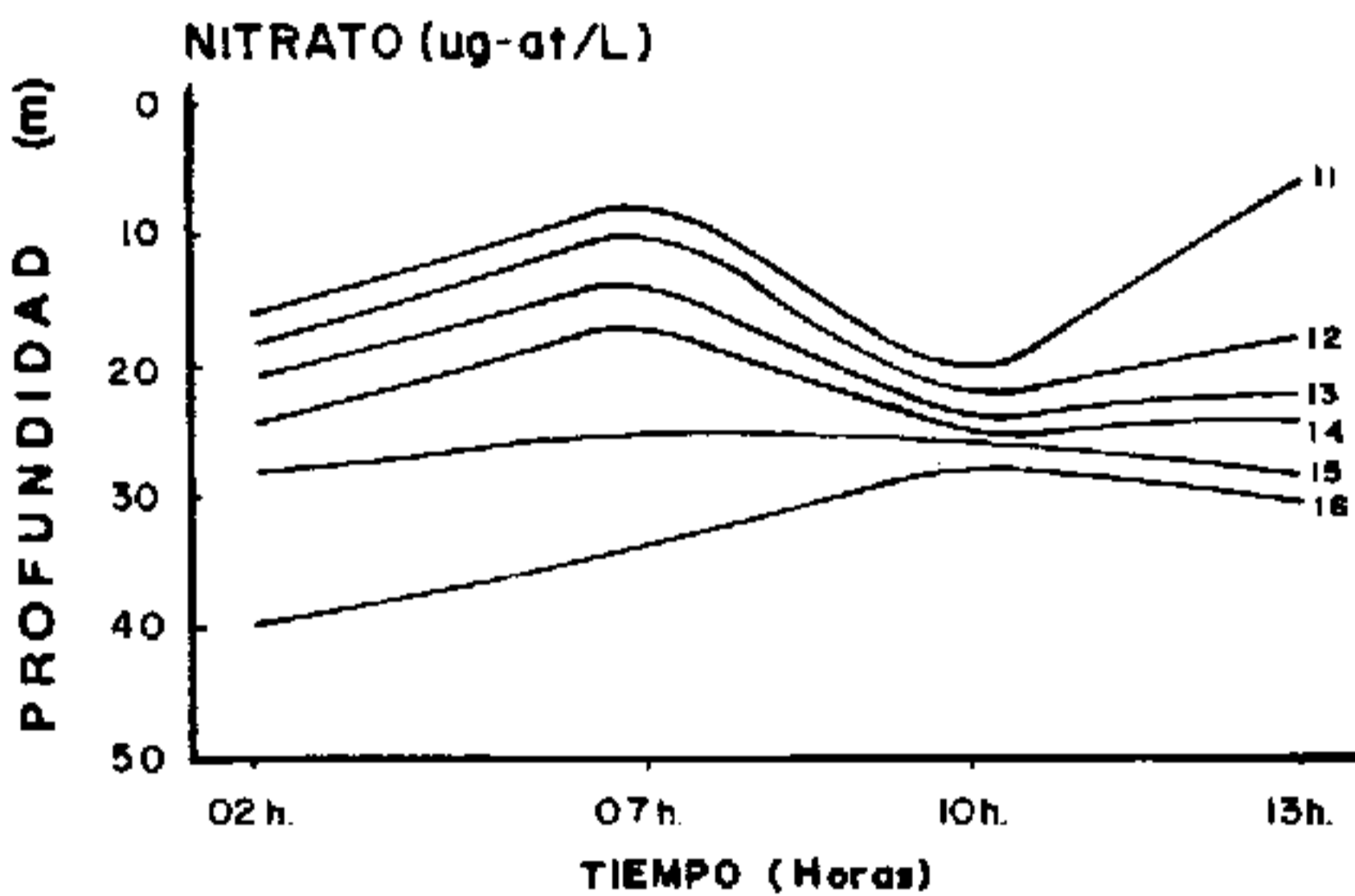


Fig. 11.-Sección de Nitrato en función de Tiempo y Profundidad.

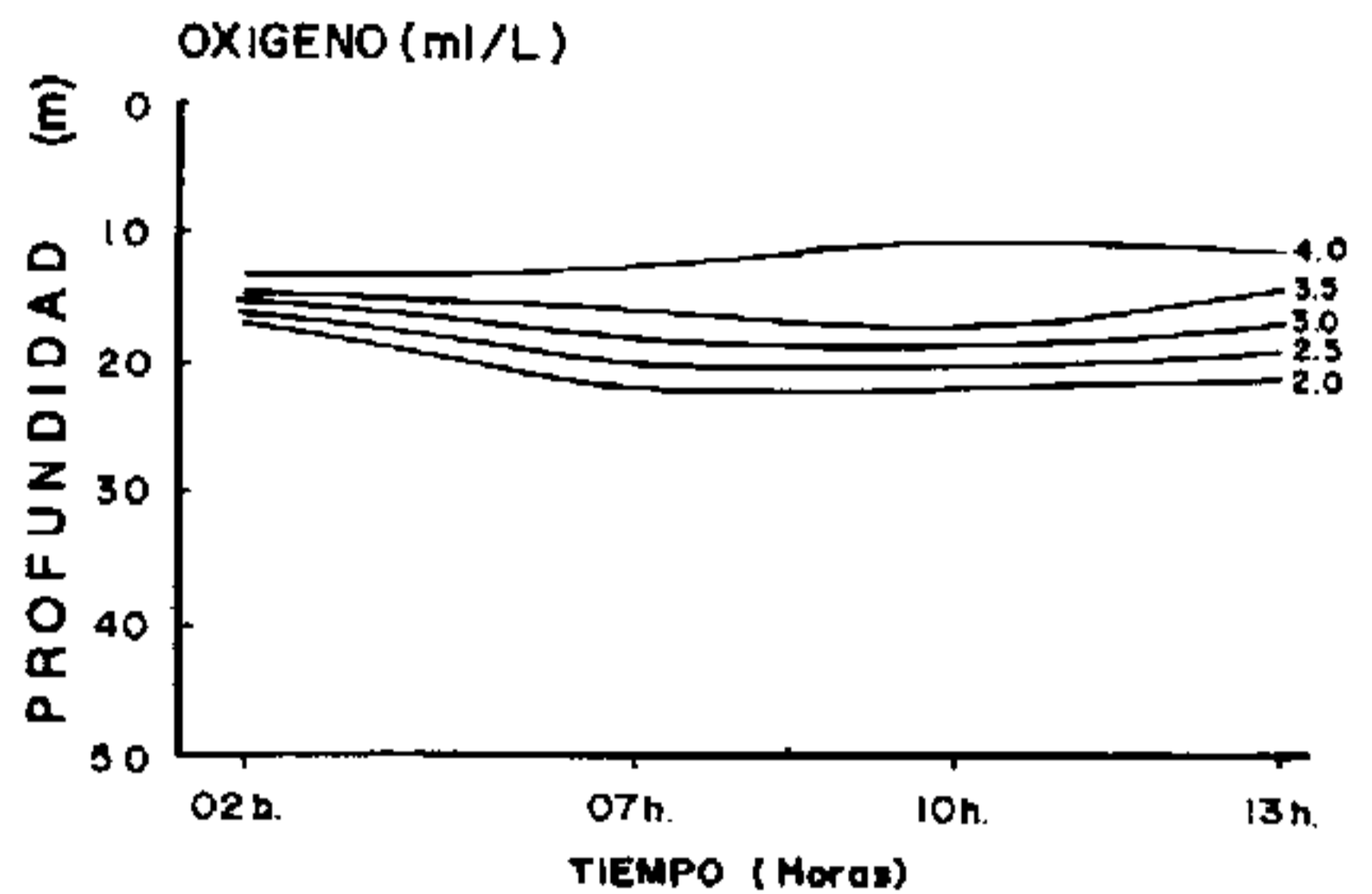


Fig. 14.-Sección de Oxígeno Disuelto en función de Tiempo y Profundidad.

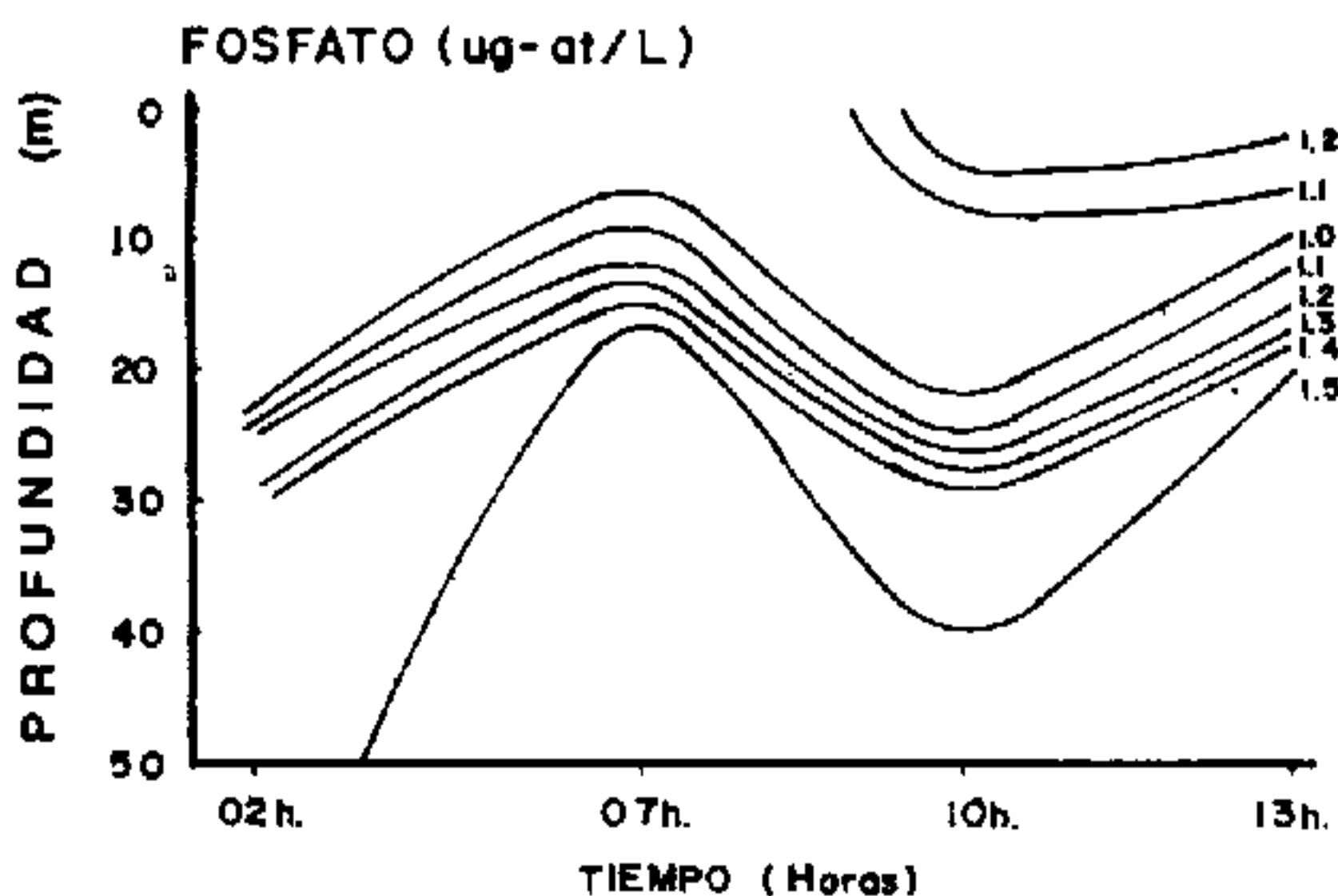


Fig. 12.-Sección de Fosfato en función de Tiempo y Profundidad.

Cabe recalcar que los desplazamientos horizontales, aunque sean pequeños, en las ondas de períodos largos, pueden introducir agua con características diferentes, si esta agua es muy heterogénea en ese sentido. Así se tiene que la no correspondencia entre los puntos del diagrama T - S (Fig. 15) de las capas subsuperficiales y superficiales indican un cambio de agua, lo cual confirma lo expresado anteriormente.

Para mayor entendimiento de este proceso se ha procedido a encontrar las celeridades de propagación de las ondas internas en sus correspondientes interfases de los diferentes intervalos de tiempo.

VELOCIDAD DE PROPAGACION DE LA ONDA INTERNA.- En un fluido de dos capas de espesor infinito, una capa de menor densidad (ρ_1) y otra de mayor densidad (ρ_2), ondas para la superficie libre entre dos capas tendrán una velocidad de progreso dada por:

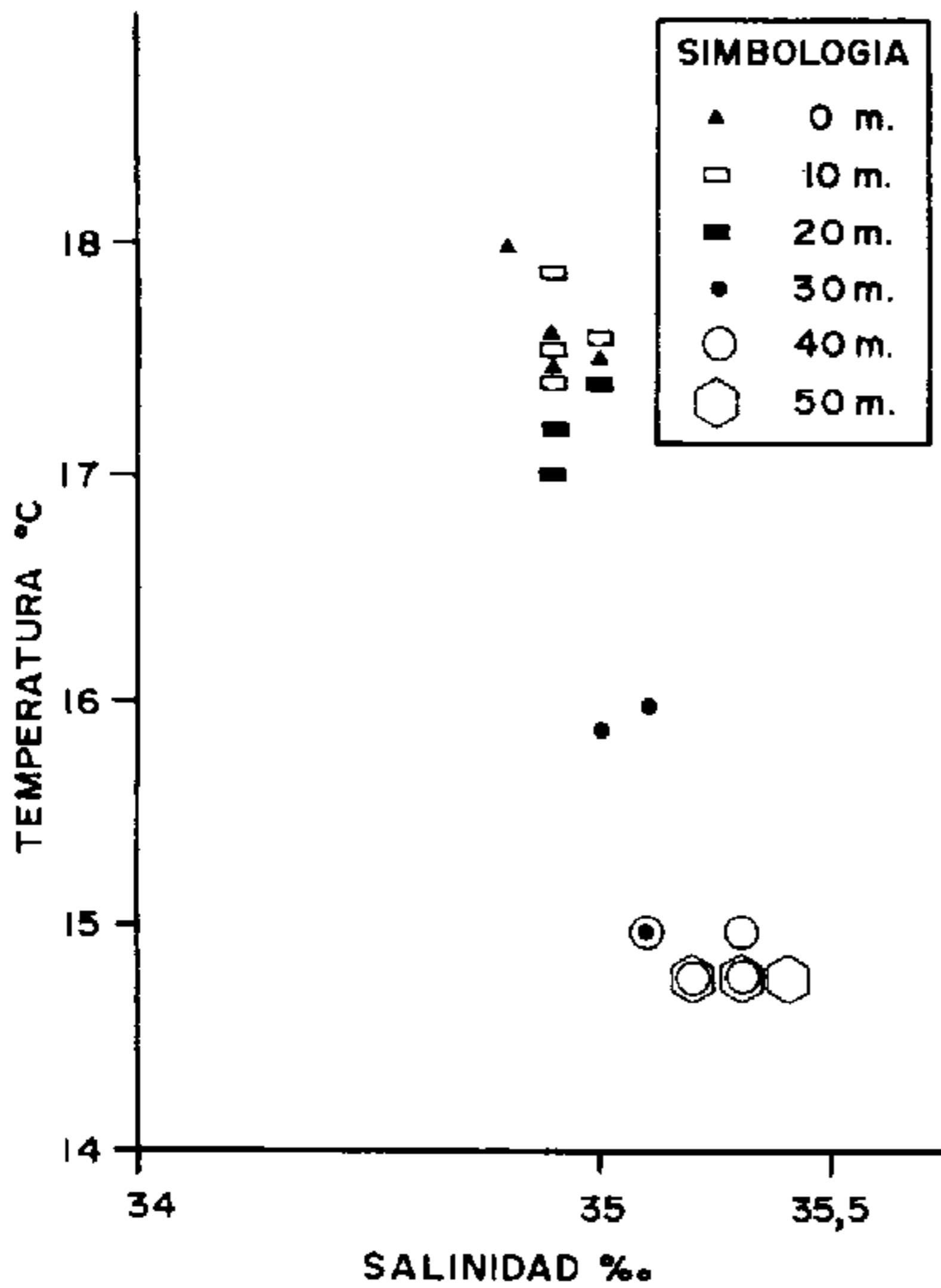


Fig. 15.-Diagrama T - S: Valores correspondientes a observaciones de 12 horas, con intervalos aproximados de 3 horas.

$$C^2 = \frac{GL \int - \int 1}{2\pi \int + \int 1} \quad (1)$$

Las ondas superficiales pueden ser consideradas como "internas" sobre el límite entre el aire y mar.

En cualquier lugar del océano donde existe una capa delgada superior de agua de pequeña densidad, dos tipos de ondas serán posibles:

La onda superficial ordinaria que se propaga con velocidad C1; y la onda interna en el límite entre la capa ligera y la capa más pesada de agua en la parte inferior que se propaga con velocidad C2. Dónde:

$$C1^2 = g(h + h1) ; C2^2 = \frac{ghh1}{h+h1} \frac{\int - \int 1}{\int} \quad (2)$$

En la Tabla I, se aprecia claramente que estas velocidades van a depender directamente de la densidad como de la profundidad de sus capas, tal es así que, las mayores velocidades se encontraron en lo que corresponde a la isipicna de 25,0 (Fig. 10) realizadas a las 07h, 10h y 13h que coinciden con el día y con las mayores concentraciones de nutrientes. Estos valores fueron de 8,75 - 10,01 y 9,40 cm/seg respectivamente, mientras que la menor velocidad correspondió a la

ESTACION FIJA 8 Lat. 2° 59.49 S. Long. 81° 40.92 W	H 1 (cms.)	H (cms)	∫ 1 (gr./cm³)	∫ (gr./cm³)	G.	C. cuad.	C. (cm/seg.)
EST. 8 HORA 02:00	2000	240	1.025	1.0252	981	41.00941	6.403859
	240	250	1.0252	1.0254	981	23.42938	4.840390
	250	250	1.0254	1.0256	981	23.91283	4.890074
	250	250	1.0256	1.0258	981	23.90816	4.889598
EST. 8A HORA 07:00	2000	500	1.025	1.0252	981	76.55091	8.749338
	500	500	1.0252	1.0254	981	47.83499	6.916284
	500	500	1.0254	1.0256	981	47.82566	6.915610
	500	500	1.0256	1.0258	981	47.81633	6.914935
EST. 8B HORA 10:00	1000	1100	1.025	1.0252	981	100.2452	10.01225
	1100	250	1.0252	1.0254	981	38.97665	6.243128
	250	250	1.0254	1.0256	981	23.91283	4.890074
	250	250	1.0256	1.0258	981	23.90816	4.889598
EST. 8C HORA 13:00	1600	650	1.025	1.0252	981	88.45883	9.405255
	650	450	1.0252	1.0254	981	50.87903	7.132954
	450	600	1.0254	1.0256	981	49.19211	7.013708
	600	700	1.0256	1.0258	981	61.79342	7.860879

TABLA I. Valores de las velocidades en función de H 1, H, ∫ 1 y ∫

medición efectuada a las 02h con un valor de 6,40 cm/seg, coincidiendo con las menores concentraciones de nutrientes. Popovici y Chacón (1966), sostiene que éstas celeridades están dentro del rango de velocidad de la Corriente de Humboldt. Por lo cual se puede pensar que en la referida estación estuvo presente una masa de agua con iguales características a la corriente antes mencionada. Si se comparan los valores de las celeridades de propagación de la onda interna entre las diferentes estaciones realizadas (Tabla I), se notará que la mayor parte de las velocidades máximas fueron observadas en los senos de las ondas mientras que las velocidades mínimas se localizaron en las crestas de dichas ondas. Esto conlleva a pensar que las ondas internas no son débiles y, que más bien el campo de una onda interna es energética.

CONCLUSIONES

Del estudio de los perfiles y secciones verticales en función de tiempo y profundidad, así como de los valores máximos y mínimos encontrados para cada uno de los parámetros físicos y químicos analizados, es muy probable que la existencia de aguas heterogéneas sea debido a que estas aguas entren en contacto con el límite Sur del Frente Ecuatorial, que para esta época mostró un fuerte gradiente de temperatura (19 a 24°C), disponiéndose en una orientación casi zonal, partiendo desde el Golfo de Guayaquil hacia el extremo Norte de las Islas Galápagos. Es notorio también la influencia de Aguas Costeras Peruanas en los primeros 20 metros, que se caracteriza por presentar temperaturas que fluctúan entre 15-19°C, salinidad de 34,8 - 35,1S x 10⁻³ y velocidades que indicarían la presencia de la Corriente de Humboldt sobre el área estudiada. Por ser ésta una corriente que se intensifica para esta temporada (agosto), puede producir desplazamientos horizontales de agua. Es por ésta razón que la mezcla de éstos dos cuerpos de agua con características físicas y químicas diferentes generen procesos de turbulencia, lo que implicaría la presencia de Ondas Internas, las cuales van a afectar todos los elementos que experimentan la influencia de los cambios de la temperatura o densidad en el mar.

Se determinó la relación entre las ondas internas y la distribución vertical de las concentraciones de los nutrientes y oxígeno, por cuanto éstos presentan la formación de un paquete de isolíneas con diferentes valores, localizadas entre 10 y 30 metros que sufren fluctuaciones de ascensos y descensos en función de tiempo y profundidad, teniendo la misma tendencia en lo que corresponde a la distribución de la temperatura, salinidad y densidad. Además las mayores velocidades

encontradas coincidieron con los mayores valores de nutrientes, así como también las menores velocidades con las más bajas concentraciones.

Se recomienda que para futuros trabajos de esta naturaleza, se consideren mayores profundidades para los muestreos.

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a los señores directivos del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador, por las facilidades prestadas al desarrollo y publicación de esta investigación; al TNNV-UN Fernando Zurita F. por la revisión del presente trabajo, a la Dra. Elena Gualancañay, nuestro especial agradecimiento por sus valiosas observaciones y sugerencias, y al Sr. Víctor Mesías por la confección de los diferentes gráficos.

BIBLIOGRAFIA

- Armstrong, F.A.J., and E.C. La Fond, 1966.- Chemical nutrient concentrations and their relationship to internal waves and turbidity off southern California. *Limnol. Oceanog.*, 11, 538 - 547.
- Andreyeva, I.B., and P. Makshtas, 1976.- Fluctuations in the Depth of Sound Scattering Layers and internal waves; *Oceanology* 16(3): 242 - 245.
- Andreyeva, I.B., and Ya. P. Makshtas, 1977.- Internal Waves and Sound Scattering Layers in the thermocline; *Oceanology* 17(3): 287 - 289.
- Chiriguaya, J.V., 1989.- Ondas Internas en el Pacífico Ecuatorial Oriental. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. 5(1): 1- 8. INOCAR. Guayaquil - Ecuador.
- Chiriguaya, J.V., 1989.- Aspectos Teóricos sobre las Ondas Internas. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. 5(1): 111 - 116. INOCAR. Guayaquil - Ecuador.
- Fofonoff, N.P., 1969.- Spectral characteristics of internal waves in the ocean. *Deep Sea Res.* 16 (suppl) 58 - 71.
- Fraga, F., 1977.- Variaciones Hidrográficas diurnas en el área de afloramiento del noroeste de Africa. Resultados Expediciones Científicas del Buque Oceanográfico "Cornide De Saavedra". *Res. Exp. Cient. B/O Cornide*. 6: 169 - 176. Instituto

- de Investigaciones Pesqueras. Laboratorio de Vigo. Muelle de Bouzas. Vigo.
- Garret, C.J.R., and V.H. Munk, 1972.-** Space-time Scales of internal waves. *Geophys. Fluid Dyn.*, 3, 225 - 264.
- Harvey, 1953.-** El Agua Marina en Fraga, 1972. p 67-99. *Ecología Marina*. Fundación La Salle. Edit. Dossat. Mon. No. 14.
- Le blond, P.H., and L.A. Mysak, 1978.-** Waves in the Ocean Elsevier, 604 pp.
- Lewis, M.R., Harrison, W.Ct., Ockey, N.S., Habert, D. and T. Platt, 1986.-** Vertical Nitrate Fluxes in the Oligotrophic Ocean.- *Science*. Vol. 234, pp 870-873. American Association for the Advancement of Science. U.S.A.
- Olbers, D.J., 1976.-** Non linear energy transfer and the energy balance of the internal wave field in the deep Ocean. *J. Fluid Mech.*, 74, 375-399.
- Pesantes, F., y E. Pérez, 1982.-** Condiciones Oceanográficas y Químicas del Golfo de Guayaquil. *Revista de Ciencias del Mar y Limnología*. 1(2): 87-113. Instituto Nacional de Pesca (INP). Guayaquil - Ecuador.
- Popovici, Z., y G. Chacon, 1966.-** Ensayo de Oceanografía Física. 1-201 pp. Instituto del Mar del Perú. La Punta - Perú.
- Romea, R., 1976.-** On coastel trapped waves at low latitudes in a stratified ocean. P.H.D., Tesis. Oregon State University.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972.-** A Practical Handbook of Seawater Analisis, Fisheries Research Board of Canada. Bull. 167, Ed. 2, p. 310.
- Sverdrup, H.V., M.W. Johnson and R.H. Fleming, 1942.-** The Oceans. (Their physics, chemistry and general biology), Prentice-Hall, Inc., USA, 1-1086 pp.