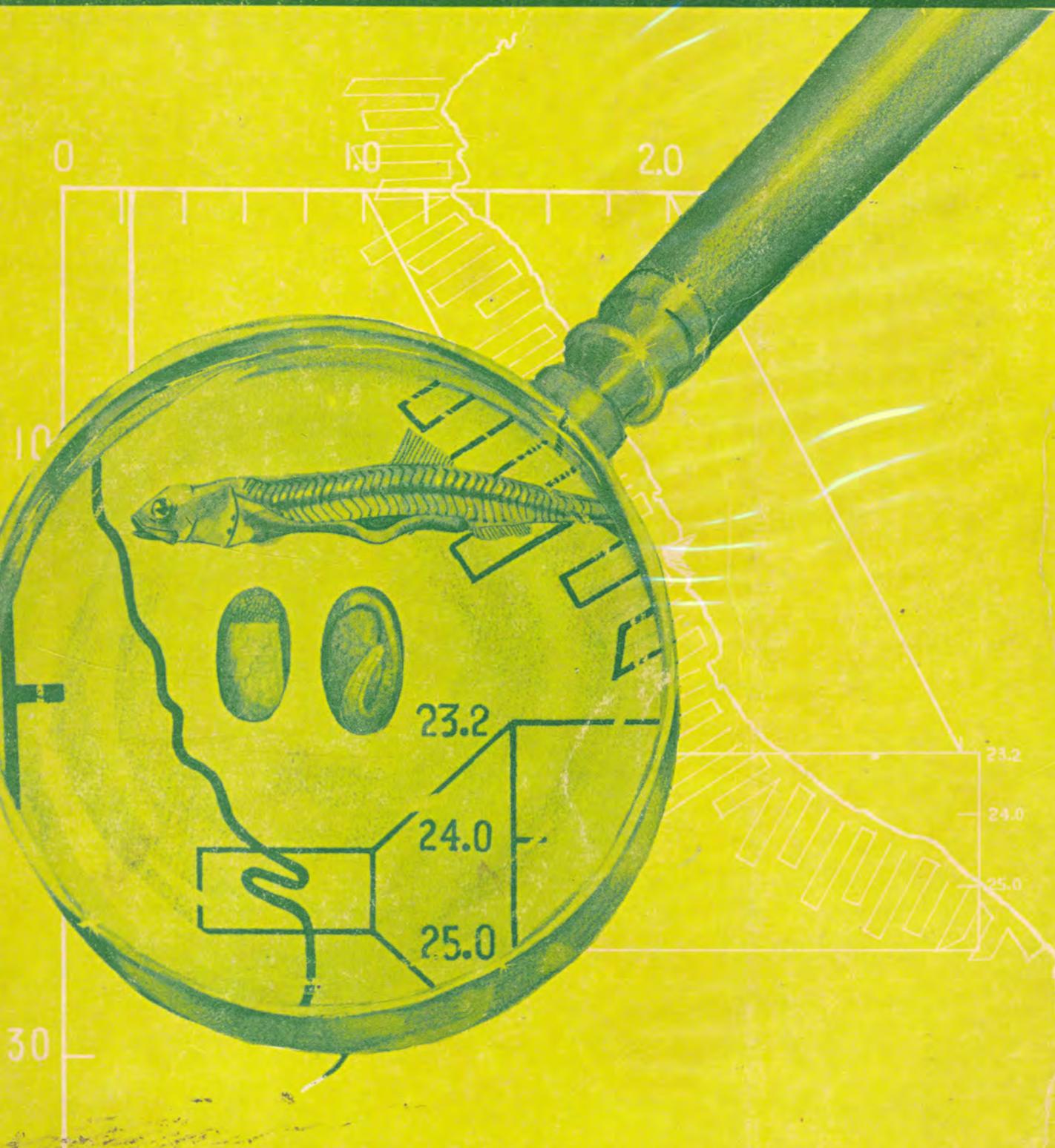




INSTITUTO DEL MAR DEL PERU

Boletín

ISSN - Q 378 - 7699
VOLUMEN EXTRAORDINARIO



**INVESTIGACION COOPERATIVA DE LA ANCHOVETA
Y SU ECOSISTEMA - ICANE - ENTRE PERU Y CANADA
CALLAO 1981 PERU**

PRODUCTIVIDAD Y AFLORAMIENTO FRENTE A LAS AGUAS COSTERAS PERUANAS

por:

O. Guillén, y R. Calienes

Instituto del Mar del Perú

RESUMEN

Utilizando la literatura disponible y diversos datos colectados de 1964 a 1978, los autores ofrecen un cuadro del afloramiento y la productividad frente a la costa peruana. El agua aflorada proviene principalmente de 50-75 m de profundidad y tiene diversos orígenes los cuales influyen en la productividad: Corriente Cromwell, Corriente Peruana Subsuperficial y Aguas Templadas Sub-antárticas: las estimaciones de velocidad de afloramiento varían de 2×10^{-2} a 2×10^{-4} cm/seg; áreas en orden de intensidad decreciente son 14-16°S, 4-6°S, 7-9°S y 11-12°S. Los nutrientes de disponibilidad crítica parecen ser los silicatos en conexión con la dominancia de las diatomeas, sin embargo, hay evidencia de la importancia de la relación N/Si. En condiciones de afloramiento continuo y moderado se evita el hundimiento brusco del fitoplancton permitiéndose el abundante desarrollo ictioplanctónico que conduce al abastecimiento de grandes pesquerías. Pero en general los factores principales que influyen en la productividad son diferentes para diferentes orígenes de agua. En cualquier caso, tan importante como la relación N/Si parece ser la relación profundidad de la zona eufótica a la de la capa de mezcla para determinar la productividad.

ABSTRACT

Using available literature and diverse data gathered from 1964 to 1978, the authors give a picture of upwelling and production off the Peruvian coast. The upwelled water comes mainly from 50-75 m depth from different original masses which influence affects productivity: Cromwell Current, Sub-surface Peruvian Current and temperate Sub-antarctic waters; velocity of upwelling estimates vary from 2×10^{-2} to 2×10^{-4} cm/sec; areas of decreasing intensity 14-16°S, 4-6°S 7-9°S and 11-12°S. The critical nutrients seem to be the silicates in connexion with the dominance of diatoms, however, there is strong evidence of the importance of the ratio N/Si. Under continuous and moderate upwelling conditions quick sinking of phytoplankton is avoided and an abundant development of ichthyoplankton is permitted which leads to support large fisheries. But in general, the main factors affecting productivity are different for different sources of upwelling. At any rate, as important as the relation N/Si seems to be the relation depth of the euphotic zone to depth of mixing layer to determine productivity.

INTRODUCCION

El afloramiento a lo largo de la costa peruana es uno de los más intensos del mundo y la productividad resultante también es una de las más altas y capaz de soportar grandes poblaciones de peces.

Los procesos físicos, químicos y biológicos en un ecosistema de afloramiento costero son muy complejos. Algunos autores (Margalef, 1978; Walsh, 1977; Vinogradov y Shushkina, 1978; Boje y Tomczak, 1978) están de acuerdo en que estos ecosistemas son diferentes a los de otros ambientes marinos, pero discrepan en relación a la naturaleza misma del ecosistema. En la costa peruana los estudios realizados hasta ahora en las

principales áreas de afloramiento, Chimbote y San Juan, revelan diferencias bien marcadas en relación a la dinámica de la producción biológica que se traducen en el diferente potencial pesquero de estas áreas.

Los afloramientos de Paita, San Juan, Callao y Chimbote han sido estudiados recientemente por Zuta et al (1978), Flores (1979) y Guillén y Calienes (1980), pero solo a base de datos promedios de varios años. Otra limitación en estos estudios es la de no contar con mediciones in situ de corriente, por consiguiente, las velocidades de los afloramientos calculadas sobre la base del desplazamiento de isopignas son solo relativas, así como la estimación de los períodos de enfriamiento.

to, los cuales varían para cada año y para cada área, dependiendo principalmente de la dirección y fuerza de los vientos predominantes.

Investigadores nacionales y extranjeros han realizado estudios sobre la productividad frente a la costa peruana y se han propuesto diferentes hipótesis sobre el efecto de la luz y el aporte de nutrientes gobernado por los procesos físicos.

Es esencial intensificar estas investigaciones. En el presente trabajo se ha reunido la información sobre producción primaria y clorofila principalmente, con el fin de obtener las distribuciones promedio y observar su variabilidad en relación al ambiente marino como un primer paso para visualizar y estudiar problemas más específicos en el futuro.

MATERIAL Y METODOS

Se han tomado los datos de los cruceros nacionales y extranjeros realizados durante el período 1964-1978 referentes a producción primaria, clorofila "a", transporte Ekman, profundidad de la capa de mezcla y profundidad de la zona eufótica, de los cuales se han obtenido promedios por cuadrados Marsden de 1° para diferentes épocas del año.

En los cruceros nacionales las muestras para clorofila "a" fueron obtenidas con botellas Nansen y Van Dorn, luego fueron filtradas a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/C, adicionándoles carbonato de magnesia y guardados en una congeladora para su análisis en tierra, de acuerdo a Strickland y Parsons (1965) y desde 1967 hasta 1978 de acuerdo a Lorenzen (1967). La tasa de fijación del carbón del fitoplancton fue medida por el método clásico de C₁₄ dado por Strickland y Parsons (1972) y con algunas modificaciones a partir de 1976 de acuerdo a Huntsman (1974). Las muestras fueron colectadas a las profundidades correspondientes al 100, 50, 25, 10 y 1°/o de luz superficial. A cada muestra se añadió 1.0 ml de la solución de NaH¹⁴CO₂ equivalente a una radiactividad de 4μC y luego las muestras fueron incubadas a la temperatura de la superficie del mar.

Los análisis de nutrientes fueron hechos de acuerdo a las modificaciones descritas por Strickland y Parsons (1965-1972). El transporte Ekman fue calculado usando los datos de fuerza de arrastre de los vientos de acuerdo a $Mn = \tau y/f$ donde f es el parámetro coriolis y τ y es la componente de la fuerza de arrastre de los vientos paralela a la costa.

RESULTADOS

Afloramientos

En los afloramientos, la capa superficial directamente afectada por los vientos llamada capa Ekman puede llegar a los 100 m. El afloramiento a lo largo de la costa peruana es muy superficial y está restringido principalmente a profundidades menores de 100 m, mientras que lejos de la costa los movimientos ascendentes alcanzan profundi-

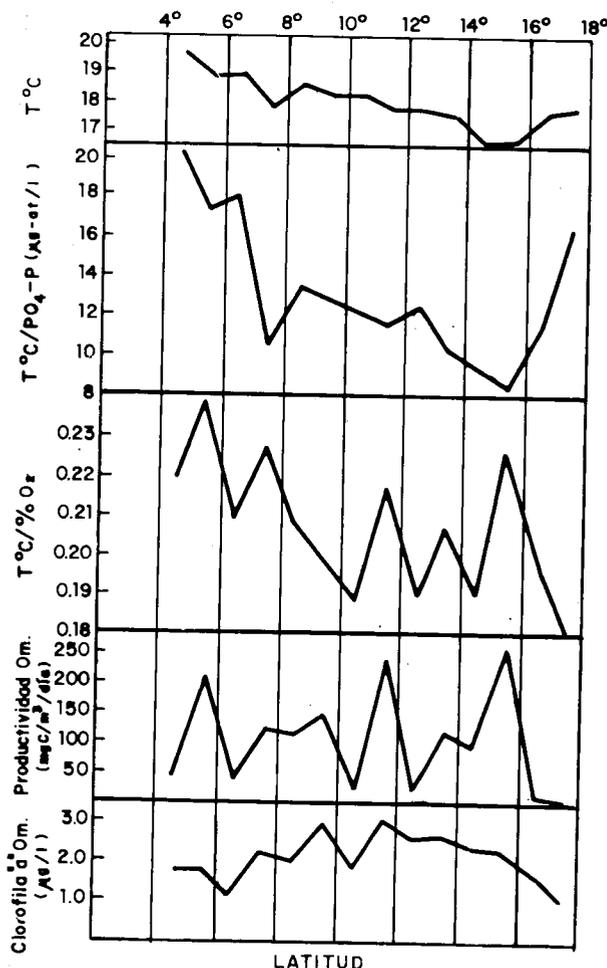
dades mayores.

La velocidad del afloramiento frente al Perú ha sido calculada por diferentes autores entre ellos Posner (1957), Wyrтки (1963), Guillén (1966), Smith et al (1971) y Zuta y Guillén (1970) quienes hallaron velocidades de : 1.9 X 10⁻³, 2 X 10⁻⁴, 6.10 X 10⁻⁴, 2 X 10⁻² y 2.7 - 3.9 X 10⁻⁴ cm/seg respectivamente. Recientemente Zuta et al (1978) dieron valores de 2.2 X 10⁻³ cm/seg para Paita y 4.0 X 10⁻³ cm/seg para San Juan. Flores (1979) señaló 3.8 X 10⁻³ cm/seg para Callao y en el área de Chimbote, Guillén y Calienes (1980) obtuvieron 1.5 X 10⁻³ cm/seg.

La intensidad de los afloramientos costeros varía de acuerdo a posición geográfica y estación del año, y se identifican por medio de la distribución latitudinal de la temperatura y de los índices T°C/PO₄-P y T°C/o/o O₂ en la superficie del mar.

En la Fig. 1 se observa que el área de más intenso afloramiento se presenta entre los 14 y 16°S, luego siguen las áreas entre las latitudes 4-6°S, 7-9°S y 11-12°S, lo que está de acuerdo con lo hallado por Zuta y Guillén (1970) y Guillén (1980). Estas áreas están generalmente asociadas con los va-

Fig.1 Distribución latitudinal de la temperatura, índices T°C/PO₄ - P y T°C/o/o O₂, clorofila "a" y productividad en la superficie del mar.



lores más altos de producción primaria y de contenido de clorofila en la superficie del mar. Por otro lado, alrededor de los 13° se observó en promedio anual una buena biomasa de fitoplancton sin que esta área corresponda estrictamente a un afloramiento. Su producción puede ser debida a los procesos de circulación y mezcla (Matada et al. 1970; Taniguchi y Kawamura, 1970; Nishizawa et al. 1971; y Tuniguchi y Nishizawa, 1971) o a la eficiencia fotosintética, la cual no es la misma para las diferentes especies de la población fitoplanctónica predominante en las diferentes áreas (Guillén et al. 1971 y 1973).

Clorofila "a"

La clorofila "a" en la superficie del mar (Fig. 2) tuvo valores de 0.00 a 0.69 $\mu\text{g/l}$ hallándose valores $> 2.0 \mu\text{g/l}$ cerca y a lo largo de la costa, correspondiendo las mayores concentraciones a las áreas de

pesca de anchoveta (Chimbote, Callao e Ilo). En la distribución estacional los mayores valores se observaron en las áreas de afloramiento de Chimbote y San Juan ($>6.0 \mu\text{g/l}$) en verano y frente a Callao en otoño ($>9.0 \mu\text{g/l}$). Las Aguas Subtropicales Superficiales y Aguas Ecuatoriales Superficiales se caracterizaron por tener los más bajos valores ($>1.0 \mu\text{g/l}$).

La distribución vertical cerca de la costa es irregular y presenta generalmente más de un máximo de concentración (Fig.3) a profundidades que varían desde la superficie o justamente debajo de la superficie hasta el fondo de la capa eufótica o próximas a ésta, mientras que lejos de la costa es baja y casi homogénea, similar a lo hallado por Guillén y Rondán (1973). La variación de la clorofila "a" en la zona eufótica fue similar a la de superficie. El rango promedio fue de 0.80 a 285.0 mg/m^2 . Su variación estacional (Fig. 4)

Fig. 2 Distribución de clorofila "a" en la superficie del mar, a) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera.

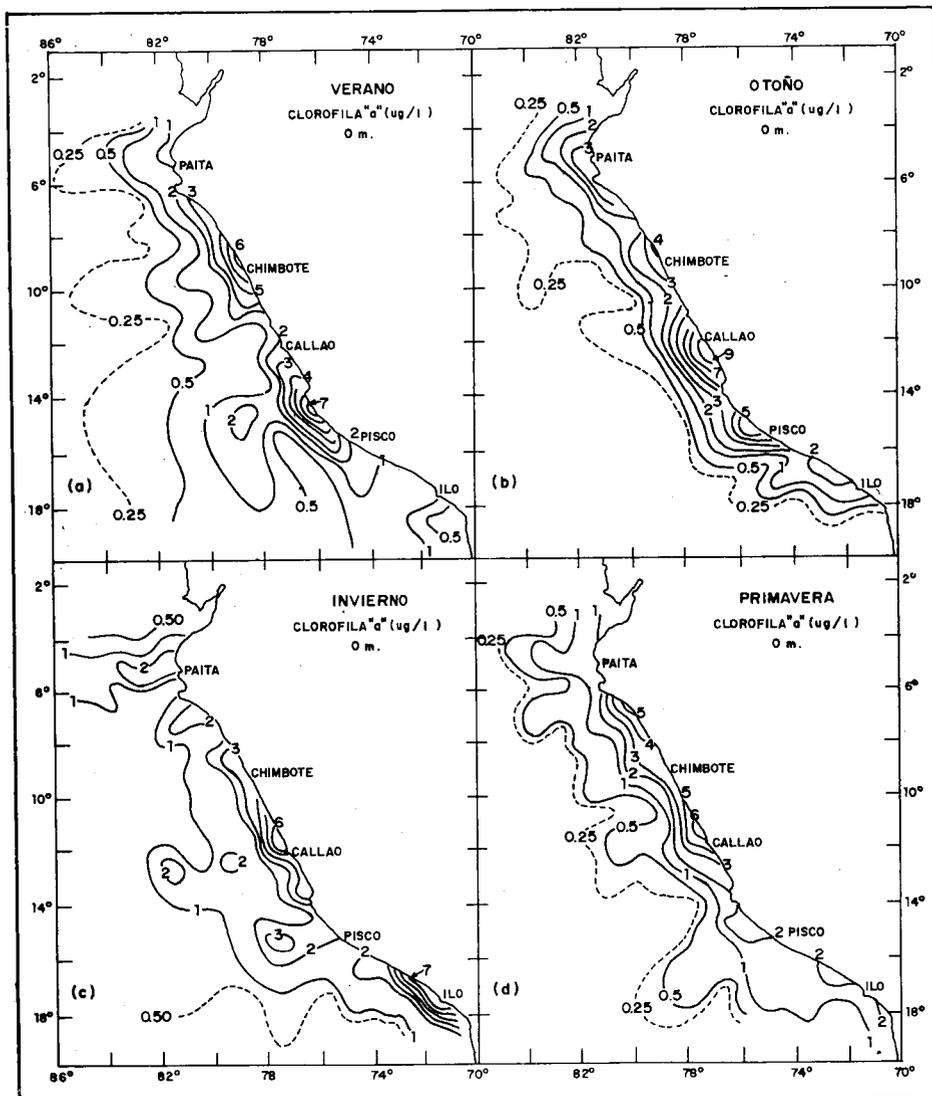


Fig. 3 Distribución vertical de clorofila "a", a) estaciones costeras, b) estaciones lejos de la costa.

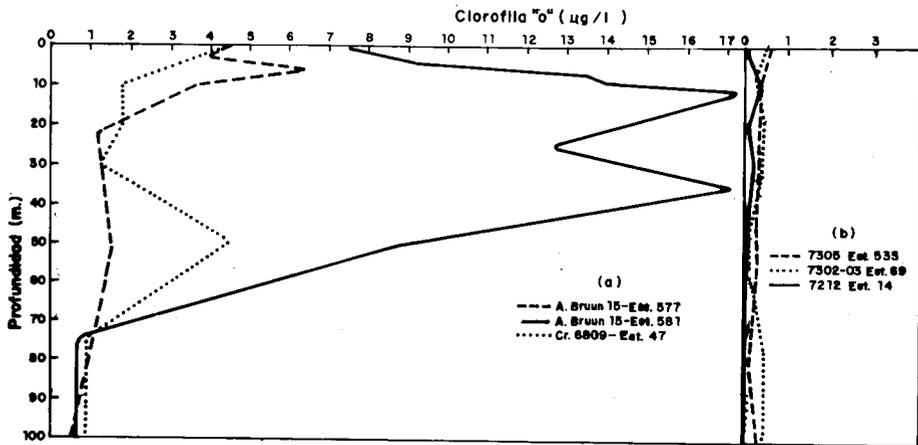
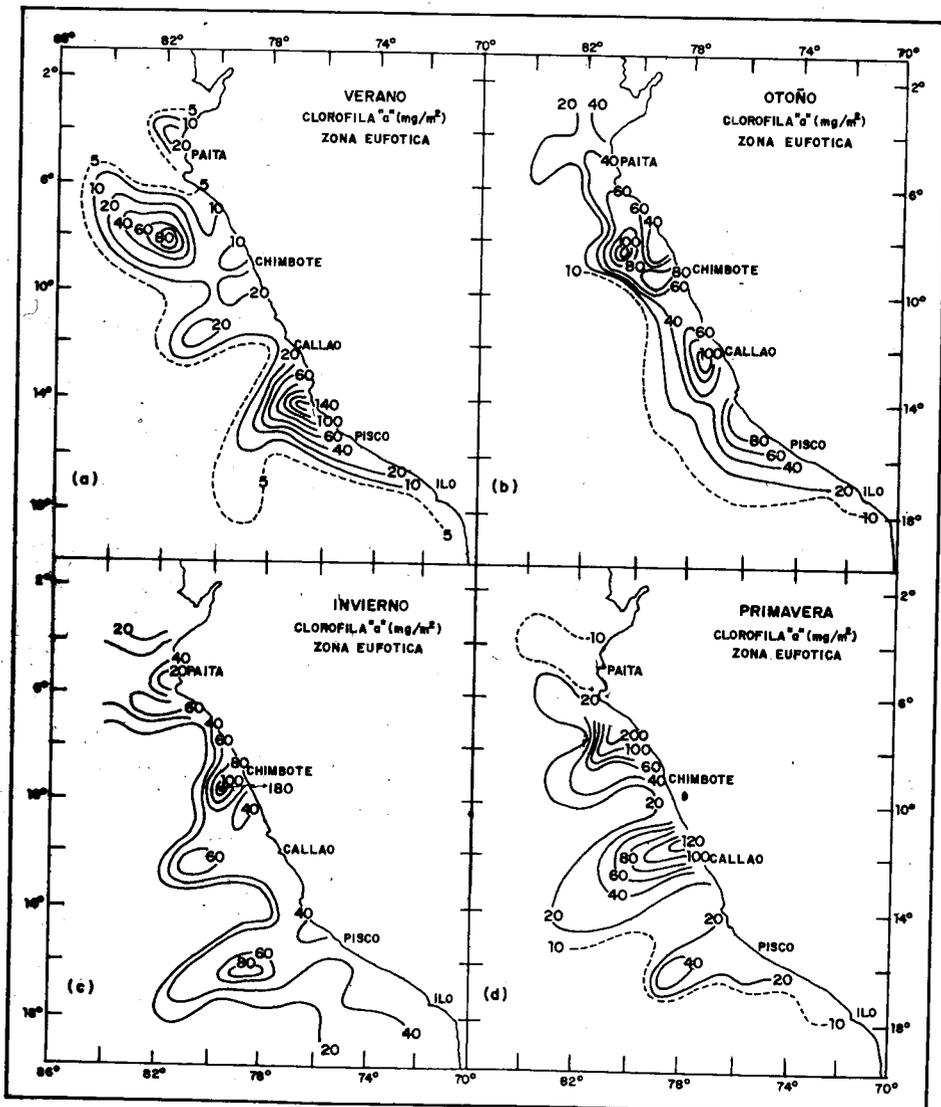


Fig. 4 Distribución estacional de clorofila en la zona eufótica, a) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera.



mostró las áreas de mayor concentración dentro de las 30 millas a lo largo de la costa en forma interrumpida, debido a los procesos de circulación y de mezcla los cuales también originan la formación de celdas debido al movimiento de las aguas de afloramiento hacia afuera de la costa y al de las Aguas Subtropicales Superficiales hacia la misma, así como al flujo de la Corriente Peruana.

Los máximos valores fueron hallados frente a Punta Doña María ($>140 \text{ mg/m}^2$) en el verano, en Callao ($>100 \text{ mg/m}^2$) en el otoño, en Chimbo-
te ($>180 \text{ mg/m}^2$) en invierno, y en Pimentel ($>200 \text{ mg/m}^2$) en primavera.

Producción Primaria

La producción primaria en la superficie tuvo valores de 0.47 a $645.0 \text{ mgC/m}^3/\text{día}$, con las más altas concentraciones cerca de la costa ($>50 \text{ mgC/m}^3/\text{día}$). Las Aguas Subtropicales Superficiales tuvieron valores menores de $10 \text{ mgC/m}^3/$

día. La mayor producción primaria ocurrió en el otoño alcanzando valores promedio sobre los $400 \text{ mgC/m}^3/\text{día}$ frente a Paita, San Juan, Chancay y en verano frente a Pucusana (Fig. 5). En el invierno los valores fueron mínimos, debido probablemente a los intensos procesos de mezcla.

La distribución vertical de la producción primaria varía con la distancia a la costa y con el tiempo y depende además del grado de eficiencia fotosintética. Se han seleccionado estaciones representativas de las diferentes áreas para mostrar su variabilidad.

Cerca de la costa frente a Chimbote, Pisco y Mollendo (Fig. 6a, b y c) la distribución vertical se caracteriza por sus altos valores y en contraste con las aguas oceánicas es irregular y bastante compleja, alcanzando máximas a diferentes intensidades de luz y a diferentes profundidades para cada estación del año. La producción total promedio para el área de Chimbote y Pisco fue de $1.40 \text{ gC/m}^2/\text{día}$ y de $0.70 \text{ gC/m}^2/\text{día}$ para Mollendo. Toda la producción ocurrió en los prime-

Fig. 5 Distribución de la producción primaria en la superficie del mar, a) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera.

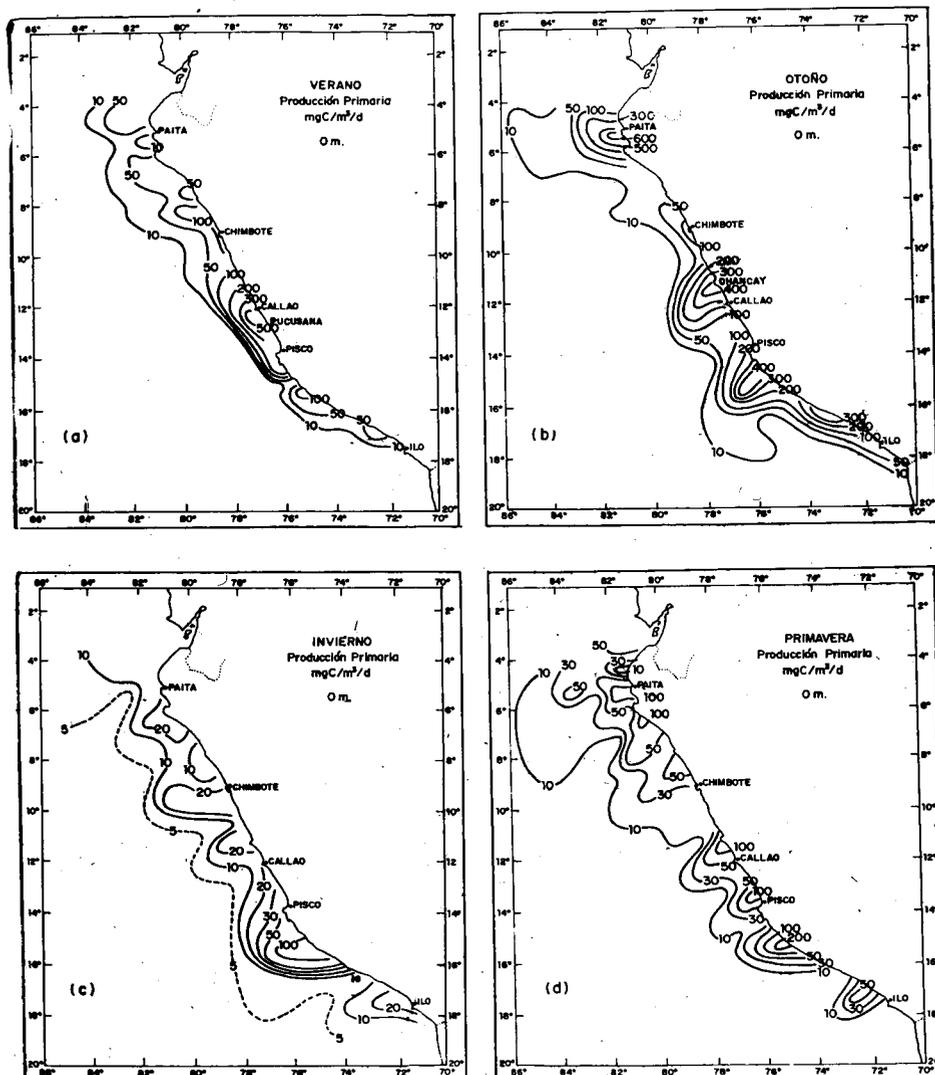
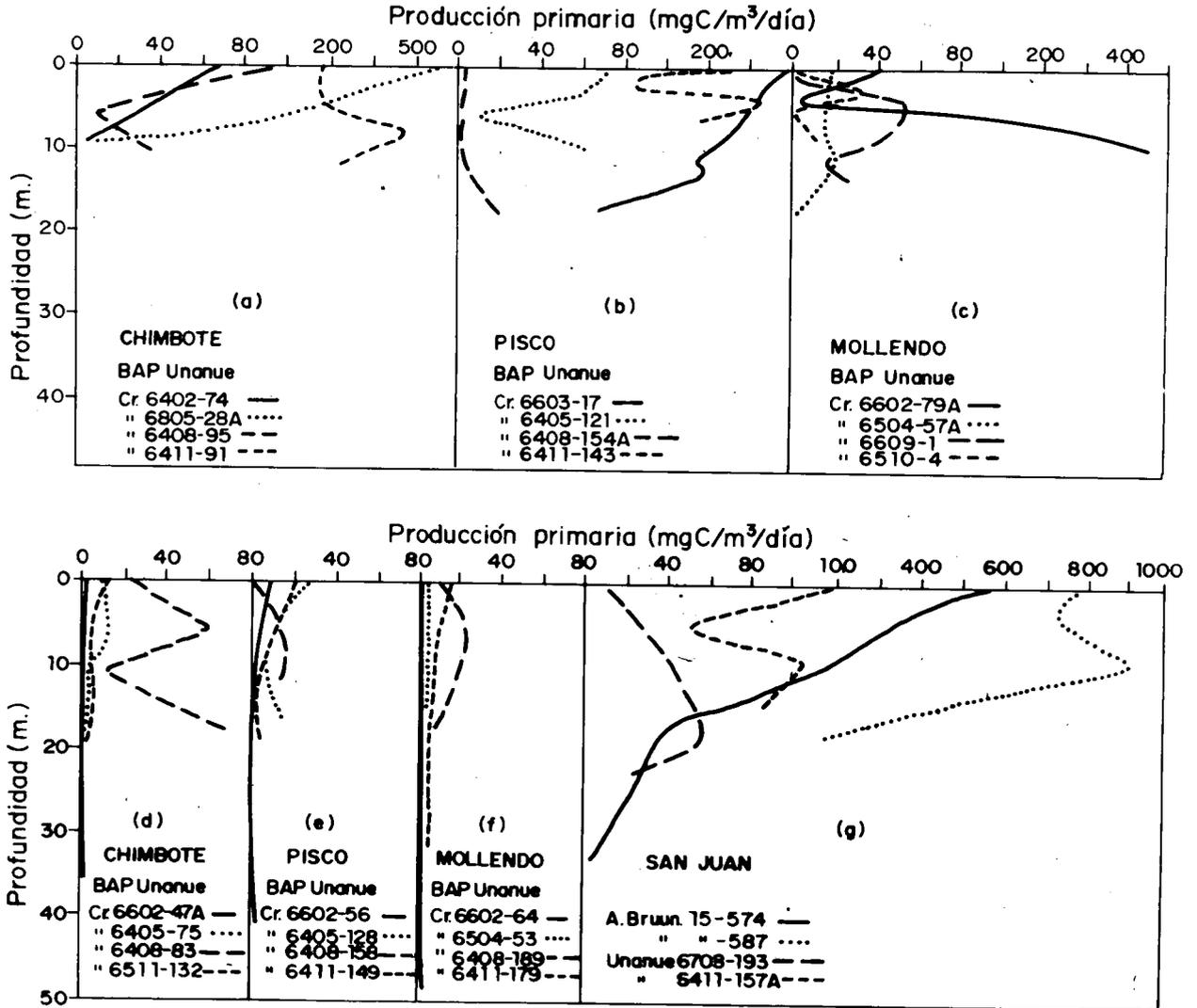


Fig. 6 Distribución vertical de la producción primaria cerca de la costa (a, b y c), en estaciones oceánicas (d, e, f) y en el área de afloramiento más intenso (g).



ros 20 m siendo más intensa en la capa de 0-10 m.

En las estaciones lejos de la costa de las mismas áreas (Fig. 6 d, e, f) se observa una producción baja casi todo el año; sin embargo, cuando dichas áreas se hallan bajo la influencia de las aguas de la Corriente Costera Peruana, rica en nutrientes, la producción puede aumentar tal como se aprecia en el invierno, frente a Chimbote, donde alcanza valores de 0.90 gC/m²/día. Los promedios para las áreas frente a Chimbote, Pisco y Mollendo fueron de 0.28, 0.16 y 0.19 gC/m²/día, respectivamente.

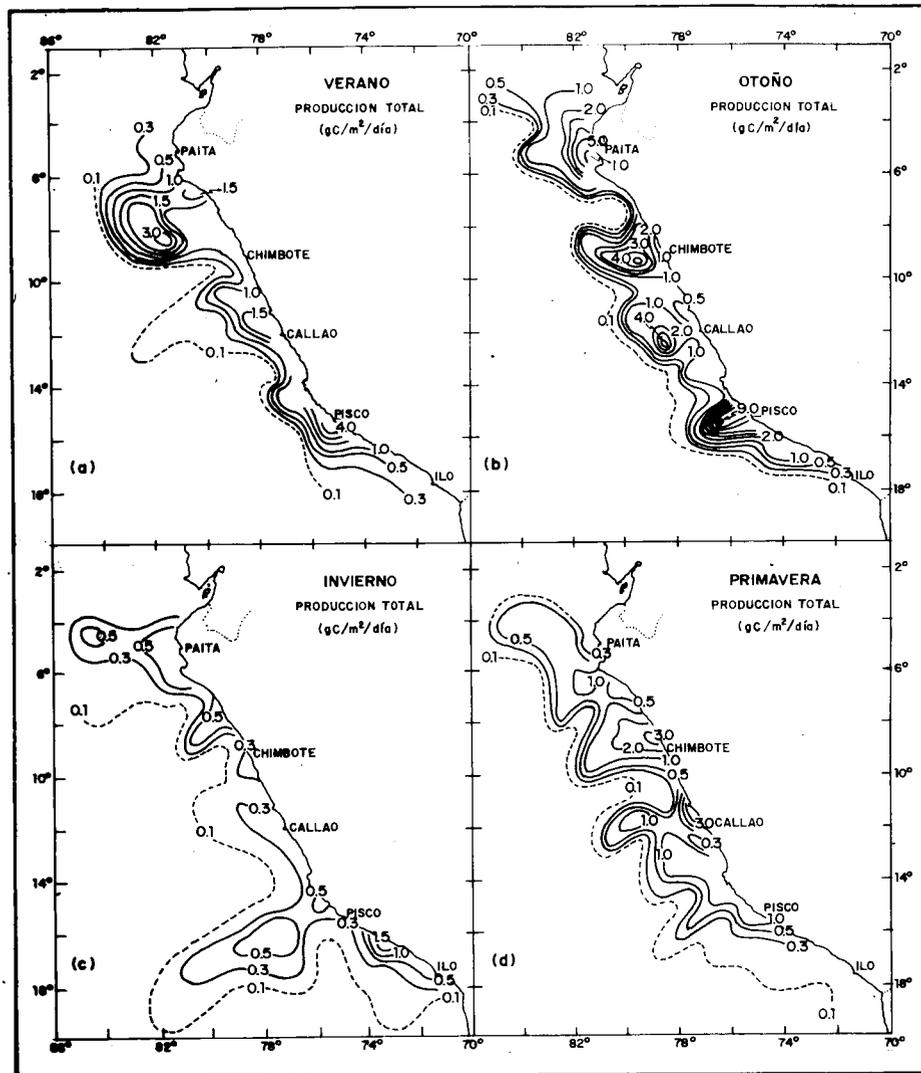
En el área frente a San Juan la distribución vertical fue muy irregular y bastante alta (Fig. 6g), con un promedio de 4.70 gC/m²/día en el verano. La máxima tasa fotosintética fue de 11.74 gC/m²/día en otoño con una producción de 891 mgC/m³/día correspondiente al 100% de luz superficial estimulada por las características de esta área donde tiene lugar el mayor afloramiento.

El rango promedio en la zona eufótica fue de 0.01 a 10.5 gC/m²/día y la variación estacional tuvo similitud con la de superficie (Fig. 7), los máximos valores fueron hallados frente a San Juan y Paita (>9.0 gC/m²/día) en el otoño, en San Juan (>4.0 gC/m²/día) en el verano, frente a Chimbote y Chancay (>3.0 gC/m²/día) en la primavera, y en Atico (>1.5 gC/m²/día) en el invierno. También se observaron algunas celdas como frente a Pimentel (>3.0 gC/m²/día) a más de 100 millas de la costa.

Capa de mezcla y profundidad de la zona eufótica

Las menores profundidades de la capa de mezcla (Fig. 8) predominaron en verano y otoño, en la faja pegada a la costa, correspondiendo las mínimas a las áreas de afloramiento con mayor producción y las máximas a las áreas ocupadas por las Aguas Subtropicales Superficiales.

Fig. 7 Distribución de la producción primaria en la zona eufótica a) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera.



Entre las principales características de la distribución se destaca, al sur de la latitud 17° y al oeste de la longitud 75° W, un flujo procedente del sur con profundidades mayores de 100 m en invierno y de 40 m en primavera el cual parece estar asociado con el flujo de la "Corriente de Chile" (Wooster, 1968). Así mismo, se distingue otro flujo hacia la costa en las mismas estaciones del año frente a Callao que posiblemente esté en relación con el flujo descrito por Reid (1959 y 1961).

El rango promedio de la profundidad de la zona eufótica (Fig. 9) fue de 15 a 75 m y de igual forma que en la capa de mezcla las menores profundidades correspondieron a las áreas de afloramiento con los mínimos valores frente a Supe y Doña María (12 m) en verano.

Las Aguas Subtropicales Superficiales se caracterizaron por los mayores valores de profundidad y tuvieron una gran influencia en la circulación costera. También se distingue, en invierno especialmente, el mismo flujo observado en la distribución de

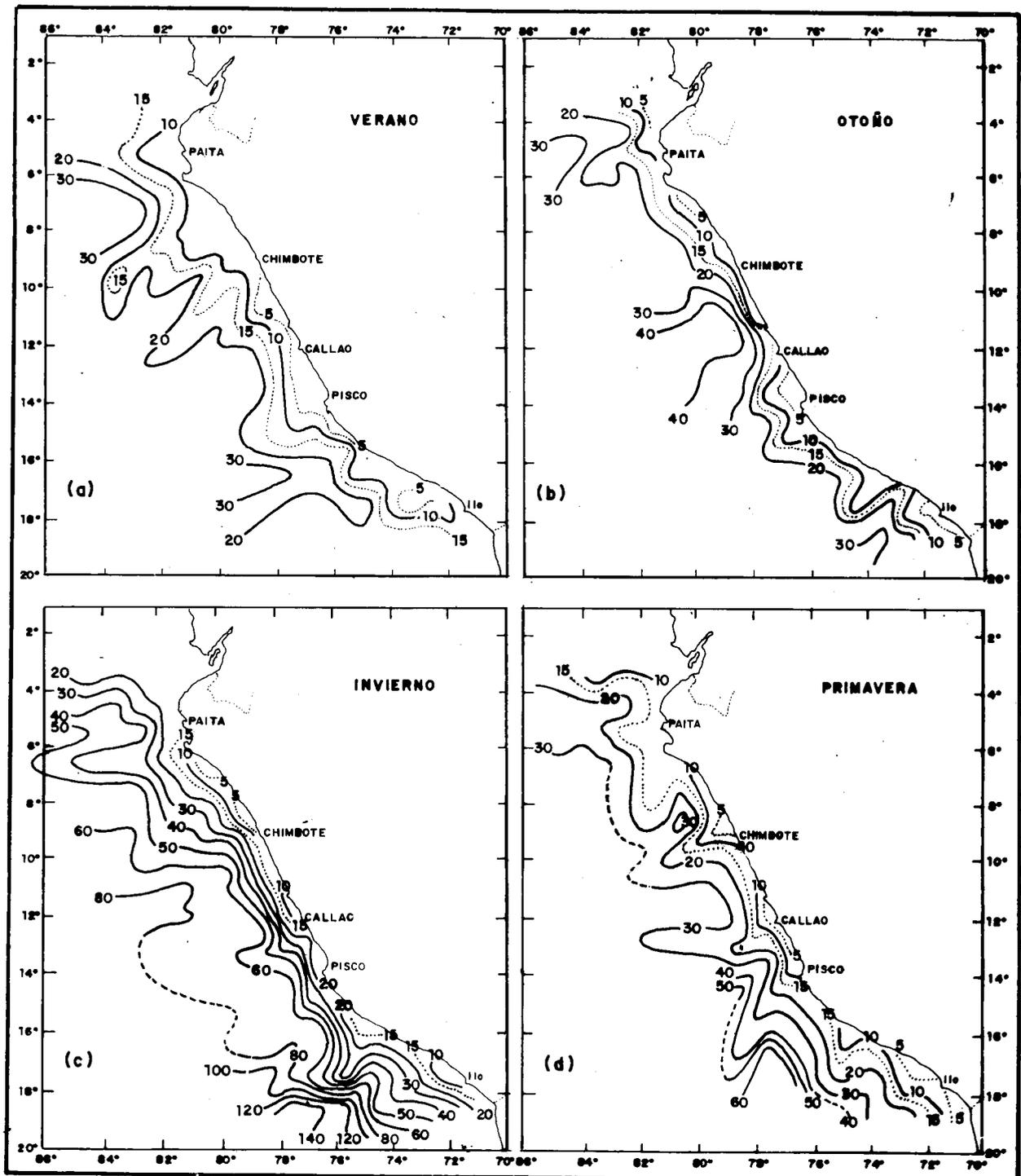
profundidad de la capa de mezcla descrito por Reid (1959 y 1961).

DISCUSION

Como se mencionó inicialmente, los estudios realizados sobre afloramiento costero en las diferentes áreas indican variaciones en su intensidad y fluctuaciones de los vientos con la latitud, así en Paita los vientos son variables, con dirección S y SW, mientras que en San Juan son más intensos y predominan vientos SE durante el año. De igual manera, la batimetría en Chimbote y San Juan (Fig. 10) muestra diferencias no solo en el talud sino también en la plataforma y en el rompimiento de ésta. La estratificación de la densidad también varía; en Chimbote ésta es algo diferente en relación a la fuerte estratificación en el área de afloramiento de Oregon (Huyer, 1976) y a la estratificación débil encontrada en NW Africa (Hughes y Barton, 1974).

Los factores que controlan la productividad en

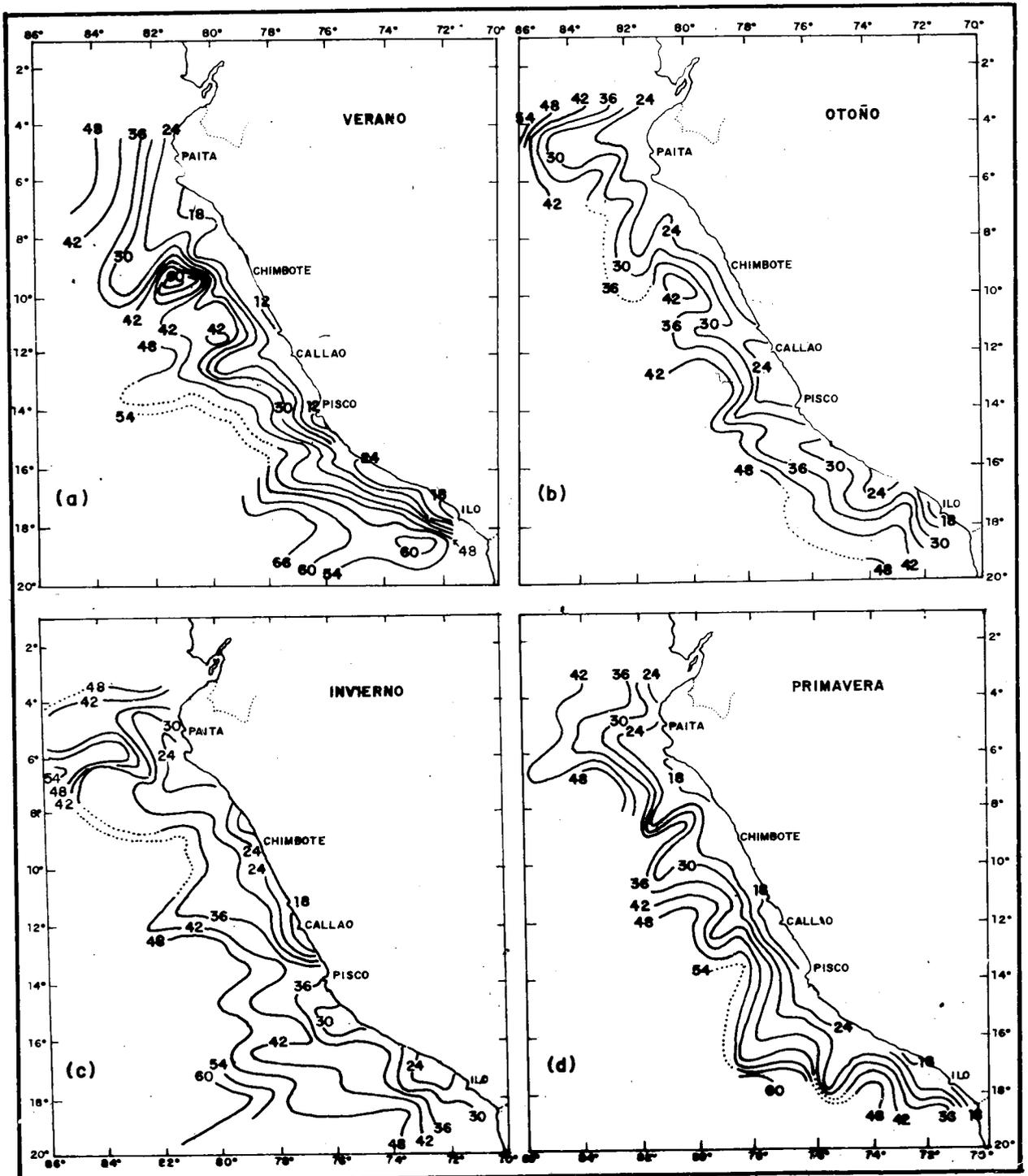
Fig. 8 Variación estacional de la profundidad de la capa de mezcla a) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera.



los océanos han sido tratados por varios autores (Steeman Nielsen, 1963; Provasoli, 1963; Strickland, 1960 y 1965) y sus variaciones geográficas por Ryther (1963), Cushing (1969), Boerema (1970) y Koblenz-Mishke et al (1970), pero no existe un consenso acerca de los factores limitantes ya que ellos varían de acuerdo a su posición geográfica y dependen de las condiciones meteorológicas y de las características físicas, químicas y biológicas

de las diferentes áreas. La productividad de las aguas peruanas está influenciada principalmente por los vientos, los nutrientes, luz, procesos de mezcla, hundimiento del fitoplancton y pastoreo del zooplancton. Ryther et al (1971), atribuyen la gran productividad de las aguas peruanas a sus vientos moderados y estables, y Huntsman y Barber (1977), señalaron que los vientos muy fuertes que producen afloramiento intensos afectarían la pro-

Fig. 9 Variación estacional de la profundidad de la zona eufótica a) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera.



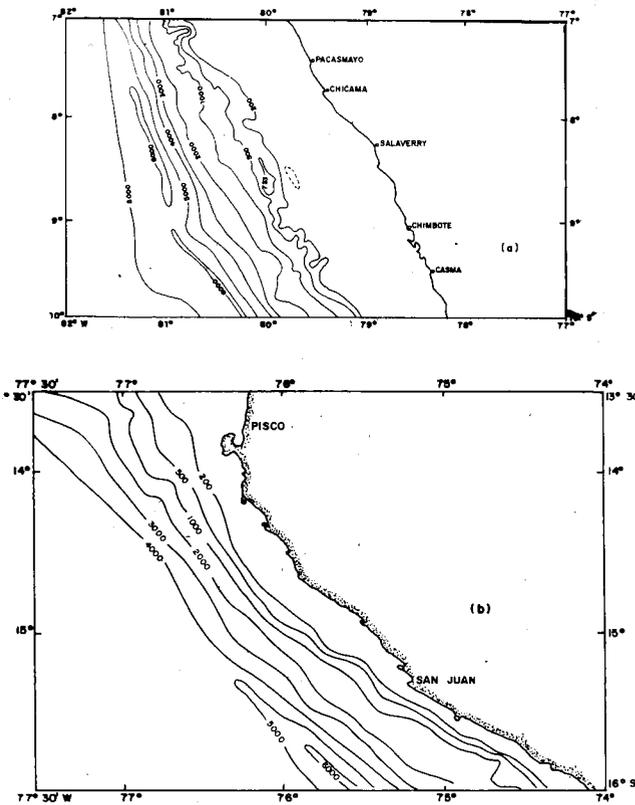
ductividad. Asimismo, Guillén (1973), encontró que la productividad depende en gran parte de la estabilidad de sus aguas más que de la limitación de la luz.

Las aguas de afloramiento provienen de diferentes orígenes: Aguas de la Corriente Cromwell, Aguas de la Corriente Peruana Subsúperficial y Aguas templadas Sub-antárticas que ascienden a la superficie desde 50 - 75 m mayormente y cuya

composición química es diferente e influye en la productividad. La tasa de fotosíntesis, luz y los procesos de mezcla determinan el tipo de fitoplancton que se desarrolla en las aguas afloradas.

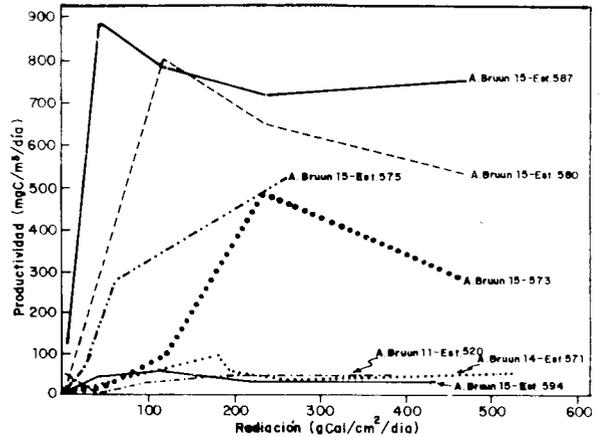
Comparando las áreas de afloramiento, Guillén y Calienes (1980), señalan que el afloramiento es más intenso en San Juan que en Chimbote. Esta última área se caracteriza por una extensa plataforma, estratificación moderada, vientos moderados,

Fig. 10 Carta topográfica (metros) de la banda costera, a) 07°-10°S, b) 13°30' - 16°S.



el período de enfriamiento es mayor que el de otras áreas y la profundidad del afloramiento es de 50 - 75 m aproximadamente. El continuo y moderado afloramiento podría impedir el hundimiento brusco de la población fitoplanctónica y permitir que las aguas recién afloradas permanezcan el tiempo necesario para el desarrollo del fitoplancton. Similares resultados fueron encontrados por Sorokin (1978) y puede observarse en la distribución fitoplanctónica presentada por Mendiola y Estrada (1976) para la misma área y por Calienes

Fig. 11 Productividad y su relación con diferentes intensidades de luz.



(1973) para Callao. Estas condiciones facilitan el alimento apropiado para el desarrollo de huevos y la sobrevivencia de larvas, lo cual convierte a la zona en una gran área de desove. En efecto, la biomasa de fitoplancton en Chimbote (Fig. 2) es casi constante durante el año, con un promedio de más de 3.0 µg/l de clorofila en superficie, en cambio, en San Juan las variaciones estacionales son muy marcadas con el máximo en verano y otoño y el mínimo en invierno.

En el sistema de circulación del área de Chimbote, probablemente los huevos contenidos en el plancton son llevados hacia afuera de la costa por el transporte Ekman y retornan a la misma por la corriente de compensación. Por otra parte, puede asumirse que los huevos serían transportados hacia el norte por la corriente superficial originada por los vientos y retornarían al área por la Contracorriente Subsuperficial hacia el sur.

La influencia de la radiación sobre la productividad es mostrada en la Fig. 11, en la cual se puede ver que no existe una buena correlación, algo similar fue reportado por Guillén (1973), quien sugirió

TABLA 1
VARIACION ESTACIONAL DE DIFERENTES PARAMETROS (04°-18°S) EN SUPERFICIE Y ZONA EUFOTICA

	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	PROMEDIO ANUAL
T (°C)	20.36	18.35	16.40	17.32	18.10
S Zo	34.87	34.91	34.98	34.89	34.91
PO ₄ (ug-at/l)	1.13	1.44	1.68	1.39	1.41
NO ₃ (ug-at/l)	5.82	11.35	15.44	8.98	10.39
SiO ₃ (ug-at/l)	6.31	8.23	15.57	11.01	10.28
Oxígeno (% Sat)	96.10	85.10	73.30	84.90	84.80
Clor. "a" (ug/l)	3.31	3.16	2.75	2.80	3.00
Productividad (mgC/m ³ /d)	161.0	146.50	28.10	62.90	99.62
Clor. "a" (mg/m ²)	32.80	49.25	42.06	36.13	40.06
Productividad (%C/m ³ /día)	1.40	2.56	0.50	1.03	1.37
Indice de Prod. (mgC/mg cl/día)	43	52	12	29	34
Prof. de zona eufótica (m)	17.91	22.03	26.87	21.23	22.01
Prof. de capa de mezcla (m)	8.35	11.23	17.21	12.21	12.25

que en el caso de las Aguas Subtropicales Superficiales los nutrientes son más importantes que la radiación, debido a que el efecto de esta puede ser reducido por la adaptación del fitoplancton. En las áreas de estudio la máxima producción se realizó a diferentes intensidades de radiación lo que indica la variación de la eficiencia fotosintética en las diferentes comunidades fitoplanctónicas.

Las variaciones estacionales en superficie y zona eufótica de los parámetros físicos, químicos y de productividad se dan en la Tabla 1. Zuta y Guillén (1970) y Guillén y Rondán (1973), han hallado gran cantidad de nutrientes a lo largo de la costa peruana, los fosfatos siempre se encuentran en cantidades suficientes para la fotosíntesis y mas bien parece que los silicatos son los más importantes (Dugdale, 1972; Guillén y Mendiola, 1974), posiblemente porque las especies fitoplanctónicas dominantes frente a las costas del Perú, son principalmente diatomeas (Guillén et al, 1971 y 1973; Blasco, 1971; Mendiola, 1963 a,b; y Calienes, 1973). Sin embargo, si comparamos la composición promedio del plancton son los resultados de la Tabla 2, se observa que en la relación promedio de nutrientes en la superficie del mar P: N: Si de 1/7.4/7.3, tanto los silicatos como los nitratos son importantes. Asimismo, Guillén (1973), halló para la zona eufótica una relación P:N: Si de 1:10.9: 7.4. Estas variaciones sugieren que la relación N/Si podría ser considerada como un buen índice del consumo de nutrientes.

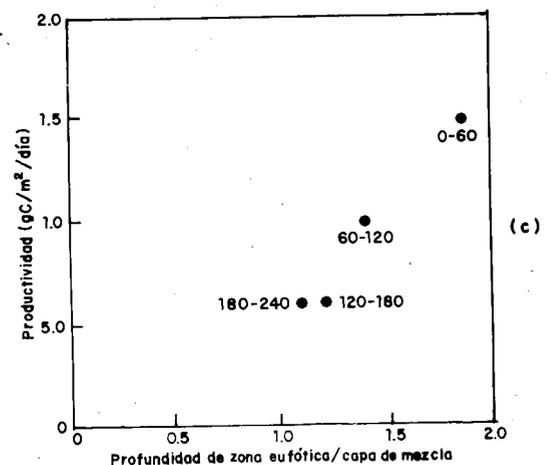
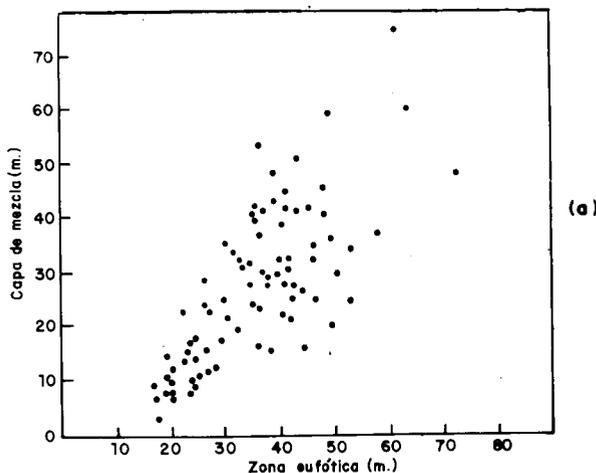
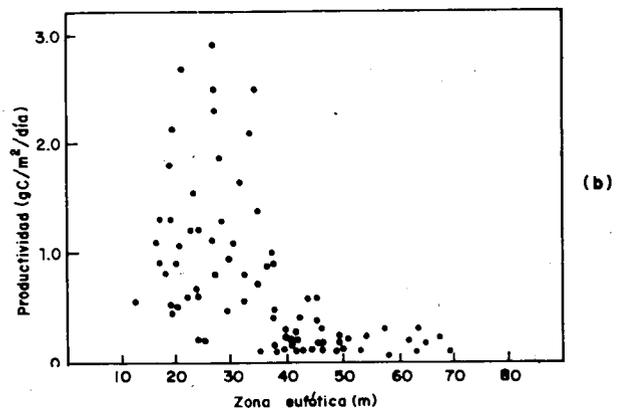
Algunos autores han señalado el efecto de los nutrientes sobre el índice de productividad de las masas de agua (Curl y Small, 1965; Strickland, 1965) y en los afloramientos costeros de Perú,

la regeneración de nutrientes ha sido considerada como un factor muy importante (Walsh y Dugdale, 1971; Rowe et al, 1977; Whitledge, 1978). En nuestros resultados, los mayores índices estuvieron asociados a las concentraciones altas de nutrientes y viceversa, la distribución anual promedio del índice de productividad (mgC/mg Clor/día) en la capa eufótica (Fig. 12) muestra valores mayores de 60 frente a Paita, Callao y San Juan y mayores de 40 frente a Pimentel y Chaccay, los valores inferiores (20) correspondieron a las Aguas Subtropicales Superficiales. A lo largo de la costa (04°-18°S) y dentro de las 60 millas, el índice promedio fue 34.

Tabla 2. CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AFLORAMIENTO EN LA SUPERFICIE DEL MAR

AREA	4° - 6°	7° - 9°	11° - 13°	16° - 18°
T° (°C)	19.35	18.31	17.86	16.79
S Zo	34.64	34.97	34.99	34.92
Oxígeno (X Sat.)	82.97	81.37	84.37	78.98
PO ₄ (NO ₃ /SiO ₂)	1/9.2/9.1	1/8.9/8.3	1/2.8/5.6	1/6.9/7.0
Clor. "a"	1.86	2.21	3.01	2.52
Productividad (mgC/m ² /day)	137.47	95.23	136.65	188.94

Fig. 13 Relaciones entre la productividad, capa de mezcla y zona eufótica. a) profundidad de la capa de mezcla y zona eufótica, b) producción total y profundidad de la zona eufótica, c) profundidad de la capa de mezcla/zona eufótica y productividad en las bandas de 0-60, 60-120, 120-180 y 180-240 millas de la costa.

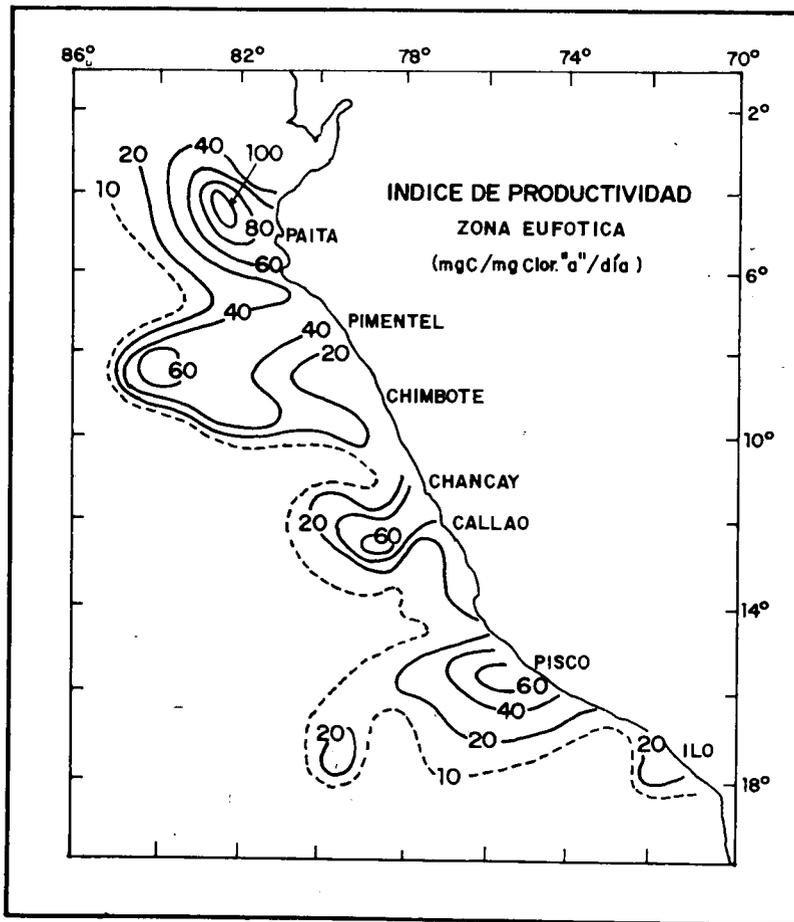


La capa de mezcla y la zona eufótica mostraron una buena correlación (Fig. 13a). Por otro lado, al relacionar el promedio anual de la producción total y la zona eufótica se observa que los más altos valores de producción se encontraron a profundidades menores de 35 m (Fig. 13b). Hunstman y Barber (1977) hallaron que los procesos de mezcla limitan la producción en NW Africa, similar concepto puede asumirse de la relación de zona eufótica/capa de mezcla y la productividad en las franjas de 0-60, 60-120, 120-180 y 180-240 millas en la costa de Perú (Fig. 13c). La producción total promedio para 60, 100 y 200 millas de la costa fue de 1.40, 1.10 y 0.90 gC/m²/d equivalente a una producción anual de 510, 440 y 330 gC/m² respectivamente.

De lo expuesto anteriormente se puede puntua-

lizar que el factor principal que controla la productividad podría ser la relación de la profundidad de la zona eufótica a la de mezcla, la cual representa indirectamente la influencia de los procesos de mezcla en la productividad, y, como factor limitante de los nutrientes, puede señalarse la relación N/Si en la que la tasa de regeneración de nutrientes juega un papel importante. Aún no se cuenta con suficiente información para ver el efecto del pastoreo del zooplancton y el hundimiento del fitoplancton. En las características promedio de la superficie del mar de las áreas de afloramiento (Tabla 2) sobresale el área 14-16° cuyo afloramiento es casi permanente durante todo el año, caracterizándose sus aguas por mínimos de temperatura y de porcentaje de saturación de oxígeno, mayor contenido de nutrientes y alta productividad.

Fig. 13 Índice de productividad en la superficie del mar.



REFERENCIAS

- BLASCO, D. 1971. Composición y distribución del fitoplancton en la región del afloramiento de las costas peruanas. *Inv. Pesq.* 35 (1) : 65-112.
- BOEREMA, L. 1970. The fish resources of the ocean. *FAO Fish Tech. Pap* (97) : 164-175.
- BOJE, R. and M. TOMCZAK. 1978. Ecosystem analysis and the definition of boundaries in upwelling regions. in *Upwelling Ecosystems*; edited by R. Boje and M. Tomczak. pp 3-11, Springer, Verlag, New York.
- CALIENES, R. 1973. Diversidad y asociación del fitoplancton en Callao. Tesis, Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, Perú.
- CUSHING, D. 1969. Upwelling and fish production. *FAO*

- Fish Tech. Pap. (84) : 40.
- CURL, H., Jr. and L. SMALL. 1965. Variations in photosynthetic assimilation ratios in natural marine phytoplankton communities. *Limnol. Oceanogr.*; Redfield Vol, Suppl. to 10 : R67-R73.
- DUGDALE, R. 1972. Chemical Oceanography and primary productivity in upwelling regions. *Geoforum* 11 : 47-61.
- FLORES, R. 1979. Régimen hídrico del afloramiento en el área de Callao. Presentado a reunión de trabajo del proyecto CUEA, Corvallis, Oregon (en prensa).
- GUILLEN, O. 1966. Variación de los fosfatos en el Callao como medida de la producción primaria. Memoria del I Seminario Latino-Americano sobre el Océano Pacífico Oriental, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 192-198.
- *——— 1973. Carbon/chlorophyll relationships in Peruvian Coastal Waters. *Oceanography of the South Pacific 1972*, comp. R. Fraser New Zealand National Commission for UNESCO, Wellington : 1973.
- and R. de RONDAN. 1973. Distribution of chlorophyll "a" in the Peru Coastal Current. *Oceanography of the South Pacific 1972*. Comp. R. Fraser. New Zealand National Commission for UNESCO, Wellington, 1973.
- *——— B. de MENDIOLA and R. de RONDAN. 1971. Primary Productivity in the coastal Peruvian waters. *in: Fertility of the Sea*, Vol. 1: 157-187; **edited** by Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- y B. de MENDIOLA, 1974. Productividad de la corriente peruana. I Seminario Nacional de Sistemas Ecológicos, Medio Ambiente, ONERN. Lima, Perú (en prensa).
- 1980. The Peru current system. 1: Physical aspects. Proceedings of the workshop on the phenomenon known as "El Niño". Guayaquil, Ecuador 1974. Published by UNESCO, p. 185-216.
- and R. CALIENES. 1980. Upwelling off Chimbote. Proceedings of the IDOE International Symposium on coastal upwelling. University of Southern California. Los Angeles, California (en prensa).
- HUNTSMAN, S. 1974. An evaluation of optimal conditions for determination of primary production. CUEA Newsletter, Vol. 3, N° 1.
- and R. BARBER. 1977. Primary production off northwest Africa: The relationship to wind and nutrient condition. *Deep Sea Research*. Vol. 24: 25-33.
- HUYER, J. 1976. A comparison of upwelling events in two locations: Oregon and Northwest Africa. *J. Mar. Res.* 34: 531-546.
- HUGHES, P. and E. BARTON, 1974. Stratification and water mass structure in the upwelling area off NW Africa in April/May 1969. *Deep Sea Res.* 21, 611-628.
- KOBLENTZ-MISHKE, O., V. VOLKOVINSKY and J. KABANOBA. 1970. Plankton primary production of the world ocean. *in: Scientific Exploration of the South Pacific*, pp 183-193; **edited** by Wooster W. National Academy of Sciences, Wash., D.C.
- LORENZEN, C. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: Spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* Vol. 12 (2) : 343-346.
- MARGALEF, R. 1978. What is an upwelling ecosystem - *in: Upwelling Ecosystems*; **edited** by R. Boje and M. Tomczak, pp 12-14 Springer, Verlag, New York.
- MATADA, S., T. KAWAMURA and S. NISHIZAWA. 1970. Biological structure of the sea at long 142°E in north Pacific with particular reference to the interrelation between living and non-living organic matter. *in: The Kuroshio, A symposium of the Japan Current*; **edited** by J.C. Marr. East-West Center Press, Honolulu p. 148-241.
- MENDIOLA, B. de. 1963. Estudio preliminar sobre la distribución del fitoplancton en noviembre de 1962, en el área del Callao - Cabo Blanco. Informe interno No. 34 Instituto de Investigaciones de los Recursos Marinos.
- 1963. Distribución del fitoplancton en Agosto de 1961 en el área de Callao - Chimbote. Informe interno No. 88 Instituto de Investigaciones de los Recursos Marinos.
- y M. ESTRADA. 1976. El fitoplancton en el área de Pimentel, verano de 1972. *Inv. Pesq.* 40 (2)
- *NISHIZAWA, S., A. TANIGUCHI and T. ICHIKAWA. 1971. An oceanographic section from lat. 20°N at 175 E in July to August 1968. *Kalayo Rep.* N° 3: 1-16.
- POSNER, G. 1957. The Peru Current. *Bull Bingham Oceanogr. Coll*, 16 (2) : 106-155.
- PROVASOLI, L. 1963. Organic regulation of phytoplankton. *in Fertility of the Sea*: 165-219; **edited** by Gordon and Breach Science New York.
- REID, J., Jr. 1959. Evidence of a South Equatorial Countercurrent in the Pacific Ocean. *Nature*,

- Lond. 1841 : 209-210.
- 1961. On the geostrophic flow at the surface of the Pacific Ocean with respect to the 1000-decibar surface. *Tellus* Vol. 13: 489-502.
- ROWE, G., C. CLIFFORD and K. SMITH, Jr. 1977. Nutrient generation in sediments off Cap Blanc, Spanish-Sahara. *Deep Sea Res.* 24 : 57-63.
- RYTHER, J. 1963. Geographic variations in productivity. in: *The Ocean* Pergamon Press, Oxford, 660 pp.
- D. MENZEL, E. HULBURT, C. LORENZEN and N. CORWIN. 1971. The production and utilization of organic matter in the Peru coastal current. *Inv. Pesq.* 35 (1) : 43-59.
- SMITH, R. D. ENFIELD, T. HOPKINS and R. PILLSBURY. 1971. The circulation in upwelling ecosystem: The Pisco Cruise, *Inv. Pesq.* 35 (1) : 9-24
- SOROKIN, Y. 1978. Description of primary production and of the Heterotrophic microplankton in the Peruvian upwelling region. *Oceanology*, Vol. 18, Nº 1.
- STRICKLAND, J. 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Bull Fish Res. Bd. Canada* Nº 22, VII: 172 pp.
- 1965. Production of organic matter in the primary stages of the marine food chain. in: *Chemical Oceanography*; edited by J.P. Riley and G. Skirrow, Vol. 1: 478-595, Academic Press, New York.
- and T. PARSONS. 1965. Manual of sea water analysis. *Bull Fish Res. Bd. Canada* Nº 125, 1-203 pp.
- and T. PARSONS. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull Fish. Res. Bd. Canada* Nº 167, 311 pp.
- STEEMAN NIELSEN, E. 1963. Productivity, definition and measurement in: *The Sea*, 2: 129-164 *Interscience*, New York, 554 pp.
- TANIGUCHI, A. and T. KAWAMURA. 1970. Primary production in the Western Tropical and Sub-tropical Pacific Ocean. 2nd CSK Symposium Abstract, Prepints: 24.
- and S. NISHIZAWA. 1971. Primary production in the sea area east of New Zealand in winter 1968. *Kalyo Rep.* Nº 3, 17-25.
- VINOGRADOV, M. and E. SHUSHKINA. 1978. Some development patterns of the Pacific Ocean. *Marine Biol.* 48, 357-366.
- WALSH, J. 1977. A biological sketchbook for an eastern boundary current. in: *The Sea*; edited by E.D. Goldberg, I. N. McCave, J.J. O'Brien and J.H. Steele. Vol. 6, pp 923-968. *Interscience*, New York.
- WHITLEDGE, T. 1978. Regeneration of nitrogen by zooplankton and fish in the Northwest Africa and Peru upwelling ecosystems. in: *Upwelling Ecosystems*; edited by R. Boje and M. Tomczak. pp 90-100 Springer-Verlag, New York.
- WOOSTER, W. 1968. Eastern boundary currents in the South Pacific. in: *Scientific Exploration of South Pacific*. National Academy of Sciences. Washington, D.C.: 59-68.
- WYRTKI, K. 1963. The horizontal and vertical field of motion in the Peru Current. *Bull Scripps Inst. Oceanog.* 8: 313-346.
- ZUTA, S. y O. GUILLEN. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Bol. Inst. Mar Perú Callao*. Vol. 2 Nº 5: 157-324.
- S. RIVERA and A. BUSTAMANTE. 1978. Hidrologic aspects of the main upwelling areas off Perú. in: *Upwelling Ecosystems*; edited by R. Boje and M. Tomczak. pp 235-257.