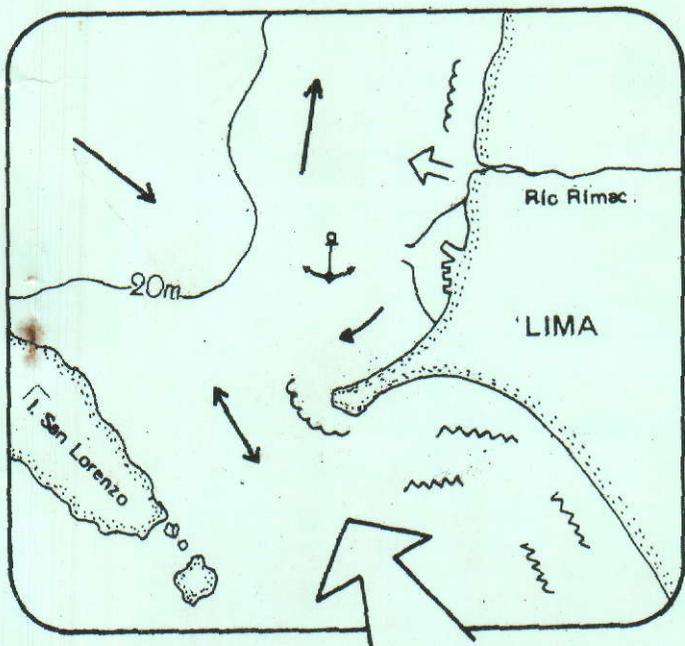
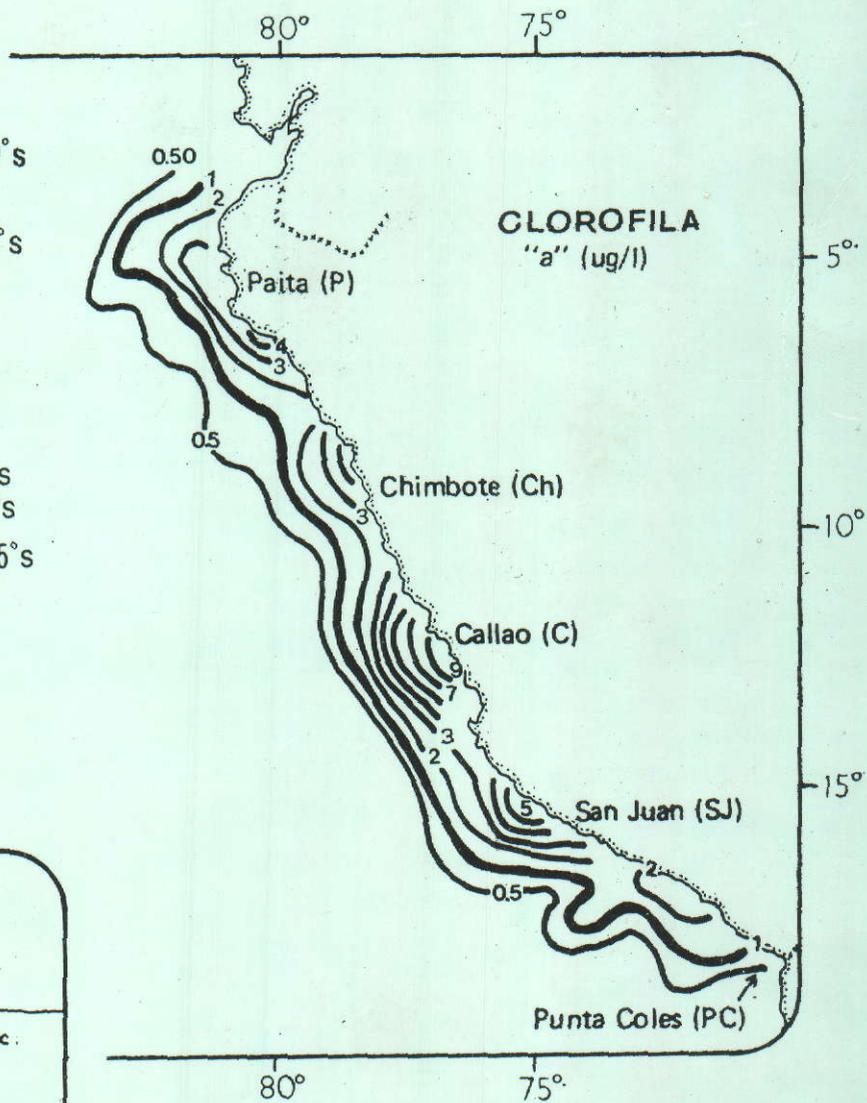
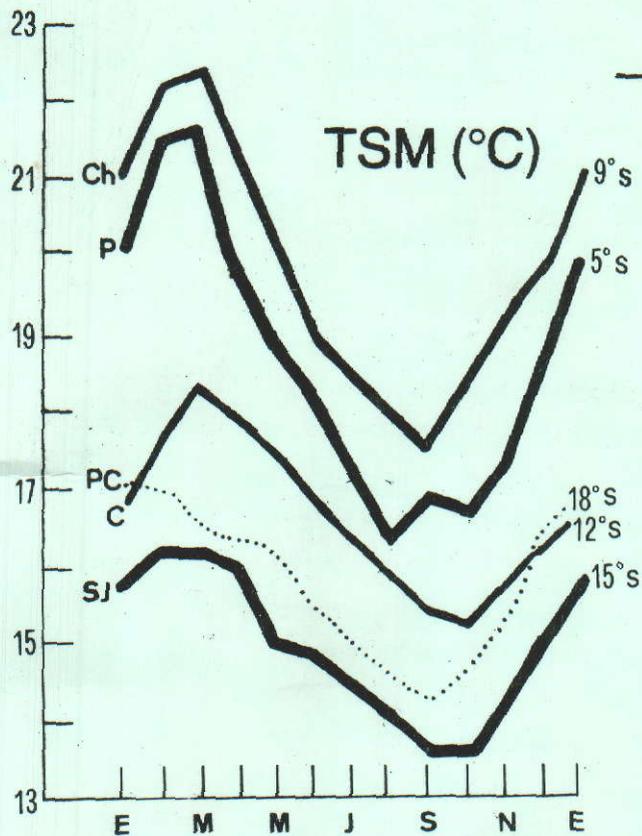




Boletín



Editores: Salvador Zuta
Antonio Landa

PRESERVACION DEL AMBIENTE
MARINO Y PRODUCCION PRIMARIA

CALLAO - PERU - 1986

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
ORGANIZACION DE LOS ESTADOS AMERICANOS



Boletín

ISSN 0017-1007
Volumen 10 No 8

Proyecto Multinacional de Ciencias del Mar
OEA-IMARPE

Editores:

Salvador Zuta y Antonio Landa

Instituto del Mar del Perú

IMARPE

**PRESERVACION DEL AMBIENTE MARINO
Y PRODUCCION PRIMARIA**

Trabajos sobre Trazas de Metales, Nutrientes y
Producción Marina en Areas de Afloramiento
Costero frente al Perú.

Callao — Perú, 1986

RECONOCIMIENTO

El primer proyecto OEA-IMARPE fue aprobado por la OEA en Septiembre de 1971 y entró en ejecución inmediatamente con los recursos de IMARPE, y desde 1972 se tuvo el apoyo de OEA. El último proyecto finalizó oficialmente en diciembre de 1985; pero gracias a la comprensión de OEA se pudo aprovechar los saldos presupuestales durante 1986, incluyendo gran parte del costo de la presente publicación.

Los proyectos OEA-IMARPE han estado bajo la conducción técnica del Ing. Oscar Guillén G. hasta agosto de 1985, en que se retiró del IMARPE y fue sucedido por el Prof. Salvador Zuta, actual Director General de Investigaciones Oceanográficas. La relación de Directores responsables de dichos proyectos es la siguiente, en orden cronológico:

1971-72 Cap.(r) Alfredo Freyre, DE (Inició las gestiones)
1972-75 Cap. de Navío Oscar Iturrino Falco, PD
1975-76 Contralmirante AP (r) Alejandro Arana Noriega, PD
1976-79 Vice-Almirante AP (r) Alberto Indacochea Queirolo, PD
1980-81 Contralmirante AP (r) Guillermo Runcimann Navarrete, PD
1982 Contralmirante AP (r) Jorge Villavicencio Soto, PCD
1982-83 Dr. Luis Gonzales Mugaburu F., DE
1983 Vice-Almirante AP(r) Daniel Masfas Abadfa, PCD
1984-85 Contralmirante AP(r) Hernán Quiroz Alva, PCD
1985-86 Vice-Almirante AP(r) Javier Llerena Perez, PCD

En el apoyo secretarial, administrativo y de coordinación se tuvo la colaboración de la Sra. Rosa de Calixto, Norma Jesse, Ada Rosales, Gladys Medina, Roberto Valdéz, Willy Grace y Jorge Storage, entre otros.

PREFACIO

La presente publicación incluye cinco trabajos relacionados con la preservación del ambiente marino y la producción primaria, trabajos realizados dentro del contexto de los tres Proyectos OEA-IMARPE: a) Productividad Primaria de las Aguas Costeras frente al Perú(1971-77); b) Producción Primaria y Contaminación de las Aguas Costeras del Perú(1978) y c) Estudio de la Preservación del Ambiente Marino y Producción Primaria (1981-85).

La contribución de OEA a través del Proyecto Multinacional de Ciencias del Mar, ha permitido no solamente la implementación en materiales y equipos, sino también la capacitación de personal científico y técnico de Oceanografía mediante becas de entrenamiento y de estudio y el desarrollo de cursos regionales sobre contaminación y productividad usando las facilidades del IMARPE. En esta capacitación ha participado, además, personal de instituciones afines del país y del exterior(Chile, Argentina, Uruguay, Ecuador, Colombia y República Dominicana).

Los proyectos de investigación que se han desarrollado con el apoyo de OEA, han concentrado los mayores esfuerzos en dos áreas costeras de afloramiento, entre Pimentel y Chimbote(7-9°S) y frente al Callao (12°S), áreas de gran actividad pesquera del país; pero varios de los trabajos científicos realizados como parte de los proyectos OEA-IMARPE han abarcado toda la costa peruana. La publicación de los mismos se ha hecho en la serie de Boletines, Informes e Informes Especiales de IMARPE, así como en revistas especializadas del exterior e Informes de Trabajo, como se puede ver en el Anexo A.

Esta publicación constituye por tanto la culminación de los trabajos conducidos por la Dirección General de Investigaciones Oceanográficas del IMARPE, y una vez más una muestra del esfuerzo conjunto de IMARPE y OEA por dar a conocer los resultados de las investigaciones orientadas al mejor conocimiento del ecosistema marino y a una mejor administración de nuestros recursos marinos, en bien del desarrollo socio-económico del país.

ROGELIO VILLANUEVA FLORES
Director Ejecutivo
IMARPE

CONTENIDO

DISTRIBUCION DE TRAZAS DE METALES EN EL PUERTO DEL CALLAO	188
Oscar Guillén, Rosa Aquino y Marfa Jacinto	
DISTRIBUCION DE COBRE, PLOMO Y ZINC EN LOS SEDIMENTOS DEL PUERTO DEL CALLAO	211
Oscar Guillén, César Delgado y Reynaldo Poma	
EXPERIMENTOS DE NUTRIENTES Y PRODUCTIVIDAD CON AGUA DE MAR Y DE LA DESEMBOCADURA DEL RIO RIMAC	232
Raquel Izaguirre de Rondán	
EL FENOMENO EL NIÑO 1982-83 Y SUS EFECTOS FRENTE AL PUERTO DEL CALLAO	254
Oscar Guillén y Nelson Lostaunau	
CARBONO ORGANICO PARTICULADO, CLOROFILA Y FOTOSINTESIS EN EL AREA DE AFLORAMIENTO ENTRE PIMENTEL Y CHIMBOTE (7-9°S)	283
Ruth Calienes y Rosa Aquino	
ANEXO A	308

DISTRIBUCION DE TRAZAS DE METALES EN EL PUERTO DEL CALLAO

Por

O. Guillén, R. Aquino y M. Jacinto

1. INTRODUCCION

En los últimos años se esta introduciendo al ambiente marino grandes cantidades de contaminantes como resultado del desarrollo industrial y manufacturero, así como el aumento demográfico en el Perú.

La Bahía de Callao ha sido identificado por varios autores como una de las áreas contaminadas a lo largo del litoral peruano Valcarcel et al, 1974; Arriaga, 1976; Malnatti, 1976; Guillén y Aquino 1978; Guillén et al 1978; Guillén, 1981, 1984 y 1985, debido principalmente a la descarga de desechos domésticos e industriales contenidos en las aguas procedentes del Rfo Rimac y de la Rada Interior del Puerto.

Existe tres reservorios para metales: agua, sedimentos y biota, los que son gobernados por complejos equilibrios que dependen de los factores físicos, químicos y biológicos (Murray y Murray, 1973).

En relación a la toxicidad hay que tener en cuenta que un contaminante sumamente tóxico que llega al ecosistema marino en pequeñas cantidades pueden ser algunas veces más importantes que otro material menos tóxico que ingresa al ecosistema en cantidades nocivas. La transferencia de los contaminantes desde el agua a los organismos marinos pueden ocurrir en algunos grupos de invertebrados, peces, etc, concentrándose dentro de los tejidos a medida que pasan a niveles más altos en la cadena alimenticia.

Las condiciones oceanográficas frente al Callao han sido descritas por Zuta y Guillén (1970), Guillén (1964 y 1976) y Calienes (1973).

2. MATERIAL Y METODOS

Para el presente estudio se han tomado los datos de los siguientes muestreos:

Muestreo 8209 : Del 29 al 30 de Setiembre 1982

Muestreo 8212 : Del 15 al 16 de Diciembre 1982

Muestreo 8305 : Del 23 al 24 de Mayo 1983

Muestreo 8403 : Del 23 al 26 de Marzo 1984

Muestreo 8408 : Del 29 al 31 de Agosto 1984

La carta de posiciones de las estaciones correspondientes a los muestreos, antes mencionados son dados en la Figura 1.

Las muestras de agua de mar fueron obtenidas de la superficie del mar y a un metro del fondo marino, usando botellas Niskin de 10 litros de capacidad. Las muestras fueron preservadas a adicionandole ácido nítrico concentrado y guardados en la congeladora hasta su análisis.

La determinación de cobre, plomo, cadmio y zinc fueron realizados siguiendo basicamente la metodología dada por Kremlin y Peterson (1974), modificado por Aquino (1977).

3. RESULTADOS

3.1 Distribución de Trazas de Metales en la Superficie del Mar

El promedio de cobre para el área $12^{\circ}00' - 12^{\circ}03'$ fue de: 23.3, 24.4, 26.3, 18.3 y 40.6 ppb, correspondientes a los muestreos de verano e invierno 1982, otoño 1983 y verano e invierno 1984, respectivamente.

A lo largo del litoral (Figura 2), el área más contaminada por Cobre fue frente a la Rada Interior del Puerto, alcanzando las máximas concentraciones (50 ppb) en la primavera de 1982 (Figura 2b) y otoño de 1983 (Figura 2c), logrando los menores niveles en el invierno de 1984 (Figura 2e). Sin embargo frente a Acapulco durante el verano o invierno de 1984

(Figura 2e). Sin embargo, frente a Acapulco durante el verano ó invierno de 1984 (Figuras 2d y e) se hallaron valores más altos que frente a la Rada Interior del Puerto encontrándose en el invierno 1984 (Figura 2e) Niveles mayores de 90 ppb. Como resultado de los procesos de circulación del área.

Frente a la desembocadura del Río Rímac se hallaron valores entre 16.0-33.0 ppb de cobre para el período de estudio 1982-1984, cuya distribución estuvo influenciada por los procesos de circulación y mezcla del área. Las celdas menores de 15 ppb observados durante el invierno y primavera de 1982 (Figuras 2a y b) fueron debidas a la influencia de las aguas subtropicales que se acercaron a la costa, como consecuencia de la ocurrencia del fenómeno El Niño 1982-83. Comparando los inviernos de 1982 y 1984 se halló un promedio de 40.6 ppb para el último, casi el doble del promedio encontrado en el primero. Los valores promedios de plomo en la superficie del mar fueron de 18.5, 9.6, 12.2, 12.0 y 14.0 ppb hallados en el invierno y primavera de 1982, otoño 1983 y verano e invierno 1984, respectivamente. Dichos promedios muestran que el promedio del invierno 1982 fue cerca del doble del encontrado en la primavera 1982, mientras que las variaciones de los promedios de los años 1983 y 1984 fueron pequeños. Su distribución mostró una gran variabilidad, debido en parte a los procesos de circulación y de mezcla, especialmente a la presencia de el Fenómeno El Niño.

Cerca de la costa (Figura 3) el área de mayor contaminación fue observado frente a la Rada Interior del Puerto, excepto en el verano de 1984 (Figuras 3d), donde las mayores concentraciones correspondieron al área frente a Acapulco y en el invierno 1984 (Figura 3e) en el que se hallaron valores mayores de 50 ppb de cobre.

El área frente a la desembocadura del Río Rímac presentó valores de 0.0 (primavera 1982) a 50.0 ppb (invierno 1984), observándose la influencia de las aguas subtropicales superficiales que se acercaron a la costa durante 1982-1983 como consecuencia de la aparición de el Fenómeno El Niño. Los valores < 10 ppb observados en el invierno de 1982 (Figura 3a) lejos y frente al Río Rímac fueron causados por el avance hacia la costa de las aguas subtropicales su per ficia les.

Durante el período de estudio las mínimas concentraciones (< 5 ppb) fueron hallados (Figura 3d) frente al área Río Rímac-Rada Interior (verano 1984) como resultado del pre dominio de las aguas frías de la corriente peruana.

También se han observado celdas de alta concentración en la Primavera 1982 (> 20 ppb) y otoño 1983 (> 30 ppb) como consecuencia de los procesos de circulación.

Acapulco fue otra área contaminada por plomo, presentando sus máximos valores (Figuras 3a y d) en el invierno 1982 (> 25 ppb) y verano 1984 (> 30 ppb).

En la superficie del mar el cadmio presentó valores promedios de 2.5, 2.5, 2.9, 1.2 y 1.4 ppb correspondiente a los muestreos invierno 1982, primavera 1982, otoño 1983, verano e invierno 1984, respectivamente.

A lo largo de la costa (Figura 4) las mayores concentraciones se hallaron frente al Río Rímac, alcanzando sus altos va lo res durante invierno y primavera de 1982 (Figura 4a y b) y los menores valores en el verano de 1984 (Figura 4d) como resultado de los procesos de afloramiento.

Otra área afectada por la contaminación por cadmio fue frente a Acapulco que presentó valores entre 0.95 a 3.6 ppb, al go mayor que los hallados frente a la Rada Interior del Puer to (0.35-3.3 ppb).

Los valores mayores de 4 ppb observados en el invierno y pr i m ave ra 1982 y otoño 1983 (Figuras 4a, b y c) son debidas a

procesos de mezcla y de circulación, excepto la playa de Cantolao donde concentraciones > 4 ppb fue debido a la contaminación local.

El fenómeno El Niño tuvo un marcado efecto en la distribución del cadmio (Figura 4), decreciendo sus concentraciones después del cese del fenómeno (verano 1984), aumentando luego sus niveles en el invierno de 1984, como consecuencia del intenso proceso de afloramiento costero.

La distribución del zinc a la superficie del mar (Figura 5) presentó valores promedios de 116.2 y 114.8 ppb en el verano e invierno 1982.

Las mayores concentraciones (Figura 5) cerca de la costa fueron encontrados frente a Acapulco (Figura 5) (~ 2.30 ppb) en el verano e invierno 1984, luego le siguió el área frente a la Rada Interior (110-230 ppb) como resultado de los altos niveles de zinc contenidos en los desechos industriales que descargan hacia el mar. Las altas concentraciones de zinc hallados lejos de la costa frente a Fertisa son resultados de la circulación del agua.

3.2 Distribución de Trazas de Metales a un Metro del Fondo Marino

La distribución de cobre fue bastante irregular, presentando valores promedios de 9.4, 15.1, 13.9, 9.1 y 38.9 ppb hallados en los muestreos de invierno y primavera 1982, otoño 1983 y verano e invierno 1984.

Cerca de la costa (Figura 6) el área más contaminada fue la Rada Interior con valores entre 20 ppb (otoño 1983) y menor de 10 ppb (invierno 1984).

Durante el fenómeno El Niño los sedimentos superficiales fueron removidos y redistribuidos dando como resultado en comparación al invierno 1982 (Figura 6a) un incremento de cobre a un metro del fondo en la primavera 1982 y otoño 1983 (Figuras 6b y c), decreciendo luego en el verano 1984 (Figura 6d) e incrementando nuevamente, debido al fuerte afloramiento ocurri-

do en el invierno 1984 (Figura 6e). Los valores altos encontrados más allá de los 3Km de la costa durante el otoño 1983 (Figura 6c) y verano e invierno 1984 (Figuras 6d y e) son el resultado de procesos de mezcla y de circulación. La aparente contradicción entre los valores promedios encontrados en el invierno 1982 (9.4 ppb) e invierno 1984 (38.9 ppb) son debido en parte al fuerte invierno 1984 y a la falta de datos cerca de la costa en el invierno 1982, sin embargo en la boca de la Rada Interior la concentración de cobre fue el doble en el invierno 1982 que el invierno 1984.

Los valores de plomo (Figura 7) presentaron una variabilidad mucho mayor que la del cobre hallándose un promedio de 10.8, 4.7, 8.9, 10.9 y 11.0 ppb obtenidos en los muestreos de invierno y primavera 1982, otoño 1983 y verano e invierno 1984. Lamentablemente para los dos primeros muestreos no se tiene información dentro de los 2 Km de la costa al norte de la Rada Interior. Las mayores concentraciones (> 20 ppb) cerca de la costa (Figuras 7c y e) fueron encontrados frente a la Rada Interior y el Río Rímac.

Las concentraciones de cadmio (Figura 8) presentaron valores promedios de 1.7, 1.0, 2.9, 0.5 y 0.9 ppb correspondientes a los muestreos de invierno y primavera 1982, otoño 1983 y verano e invierno 1984, respectivamente, siendo su distribución muy irregular, debido principalmente a la ocurrencia del fenómeno El Niño y al otoño frío de 1984 que modificaron su distribución, presentando un rango de 0.15 a 1.6 ppb para el período 1982-84.

Las mayores concentraciones halladas más allá de los 3 Km de la costa encontrados en otoño 1983 (Figura 8c) y verano 1984 (Figura 8d) son el resultado de los procesos de circulación del área.

Los promedios de zinc en el verano e invierno de 1984 (Figura 9) fue de 248.1 y 107.1 ppb, hallándose cerca de la costa al norte de Acapulco las máximas concentraciones con

valores mayores de 1500 ppb (verano 1984) 90 ppb (invierno 1984).

Los menores valores (Figura 9a y b) a lo largo del litoral fue encontrado en la Rada Interior durante el verano (20 ppb) e invierno 1984 (75 ppb).

Los valores mayores de 100 ppb hallados a más de 2 km de la costa frente a Acapulco y la Rada Interior se debe probablemente a los procesos de circulación del área.

4. DISCUSION

Las principales fuentes de contaminación en el Puerto del Callao fueron: Las aguas procedentes de la Rada Interior que contiene desechos industriales, procedentes principalmente de las actividades del SIMA, y a la descarga de las aguas procedentes del Rfo Rímac que contiene residuos industriales, mineros y desechos domésticos.

La distribución del cobre, plomo, cadmio y zinc mostraron una gran variabilidad (Figuras 2 al 9) debido a complejos procesos que dependen de diversos factores físicos, químicos, biológicos, olas, mareas, corrientes superficiales, vientos, procesos de mezcla, etc., lo que varían de acuerdo a la estación del año.

La acumulación de los metales pesados pueden afectar a los recursos vivos, cuyo factor de acumulación varía de 10,000 a 100,000.

En la superficie del mar (Figuras 2 al 5) y cerca de la costa el área más afectada fue la situada frente a las descargas de las aguas procedentes de la Rada Interior, cuyas concentraciones al igual que los de la descarga del Rfo Rímac decrecen a medida que se alejan de la costa, presentando en algunas épocas más allá de las dos millas de la costa concentraciones altas, debido en parte al transporte de las corrientes superficiales y de fondo, los que en cierta época

del año cambian de dirección originando cambios bruscos en la distribución de estos metales en el agua de mar.

La contaminación fue más marcada durante el invierno y primavera 1982 y otoño 1983, presentando las máximas concentraciones en el último con valores mayores de 50, 20 y 3 ppb de cobre, plomo y cadmio (Figuras 2c, 3c y 4c) como resultado del acercamiento hacia la costa de las aguas subtropicales superficiales debido a la ocurrencia de el fenómeno El Niño. Las menores concentraciones fueron halladas en el año frío 1984, originado por el fortalecimiento de las aguas de la corriente fría que contiene bajísimos valores de trazas de metales.

Otro foco de contaminación en el área cerca de la costa fue la ubicada frente a la desembocadura de las aguas del Rfo Rfmac, correspondiendo los máximos valores al invierno frío de 1984 (Figuras 2e, 3e, 4e y 5b) con concentraciones mayores de 30, 50, 1.5 y 100 ppb de cobre, plomo, cadmio y zinc, respectivamente, causando por los intensos procesos de afloramiento.

Otra área de menor contaminación fue la ubicada frente y al norte de Acapulco siendo más marcado durante el año frío 1984, correspondiendo al invierno (Figuras 2e, 4c y 5b) las mayores concentraciones de cobre, cadmio y zinc con valores mayores de 90, 3, 200 ppb, respectivamente, excepto los valores de plomo, cuyos máximos fueron encontrados en el verano 1984 (Figura 3d).

La distribución del cobre, plomo, cadmio y zinc en el agua de mar a un metro del fondo fue variable, debido principalmente a la influencia de el fenómeno El Niño y al año frío 1984, que dió como resultado una modificación en la circulación y una redistribución de los contaminantes, debido en gran parte a la remoción de los sedimentos al igual que en superficie las áreas más afectadas fueron las situadas cerca y frente a la Rada Interior y a la desembocadura del Rfo Rfmac. Las mayores concentra

ciones de cobre y plomo fueron encontrados en el otoño 1983 (Figuras 6c y 7c), durante la ocurrencia del fenómeno El Niño con valores > 20 ppb, mientras que los valores mayores de cadmio fueron observados en la primavera 1992 (Figura 8b).

Las áreas de máximas encontradas más allá de las 2 millas de la costa, tal como la observada en el verano 1983 frente a Fertisa (Figuras 6d, 7d, 8d y 9d) con valores :

20 ppb de cobre, y plomo, > 1 ppb de cadmio y > 600 ppb de zinc fue causada por acumulación de sustancias contaminantes que conducen al aumento de ciertos elementos tóxicos en el agua de mar, debido a las corrientes de fondo, procesos de mezcla, actividad biológica, etc, que hace que los contaminantes se dispersen y sean transportados de un lugar a otro.

En el otoño 1983 se hallaron que los promedios de plomo y cadmio (8.9 y 2.9 ppb) fueron el doble de los encontrados en la primavera 1982, mientras que el cobre decreció ligeramente de primavera 1982 (15.1 ppb) al otoño 1983 (13.9 ppb). Durante el invierno 1984, la concentración de cobre y cadmio aumentó con respecto al verano frío 1984, siendo similares los valores promedios de plomo, debido en parte al invierno frío y a los procesos de afloramiento costero, mientras que el promedio de zinc, decreció a la mitad de lo hallado en el verano 1984, debido a la altísima concentración (1520 ppb) encontrado frente y cerca de la costa frente a Acapulco (Figura 9a).

Las tablas 1 y 2 presentan las concentraciones promedios, desviaciones estandar y coeficiente de variación, a distancia

1 km, 1-3 km y > 3 km de la costa frente al área de estudio en la superficie del mar y a un metro del fondo marino, respectivamente.

Las Tablas 3 y 4 muestran los promedios, desviaciones estandar y coeficiente de variación por latitudes de 01° en $01'$

frente al Puerto del Callao (área Acapulco-Fertisa, Rfo Rímac y Rada Interior) en los que se puede observar sus variaciones y el efecto de los cambios de las condiciones oceanográficas en la distribución de cobre, plomo, cadmio y zinc en el agua de mar.

La Tabla 5 muestra las concentraciones promedios de cobre, plomo, cadmio y zinc encontrados en el presente estudio que comparados con los promedios hallados para el área costera dada por Chester y Stoner (1973) son mayores. Las concentraciones promedios de cobre hallados por Guillén et al (1978) para el Callao y Chimbote presentaron valores similares, mitad de lo encontrado por Valcarcel et al (1974) y muy inferior a lo encontrado en el presente estudio. Los valores promedios de plomo son mayores que los encontrados por Guillén et al (1978) e inferior a lo hallado por Valcarcel et al 1974. Los promedios de cadmio y zinc son mayores que los encontrados en otras áreas excepto la concentración promedio de cadmio hallado por Valcarcel et al (1974) que fue muy superior al encontrado en el presente estudio.

Los promedios encontrados de cobre, plomo, cadmio y zinc en el puerto del Callao sobrepasan los límites máximos permisibles dados por la Ley General de Aguas Clase V (Ministerio de Salud 1983), mientras que la concentración promedio del plomo sobrepasa ligeramente al dado por dicha Ley. Comparando con la Ley General de Aguas Clase VI los valores promedios de plomo y cadmio hallados en el Puerto del Callao son inferiores, pero no así el zinc • cuya concentración es muy superior al máximo permisible dado por la Ley mencionada.

- Aquino, R. 1977. Determinación de las Trazas de Metales. Primer Curso. Internacional sobre Producción Primaria OEA/IMARPE.
- Ancieta, C. 1979. Determinación de Plomo y Cadmio en el Agua de Mar y Sedimentos Marinos de la Bahía de Callao. Tesis, Univ. Nac. Callao 83 p.
- Arriaga, L. M. 1976. Contaminación en el Océano Pacífico Suroriental (Ecuador-Perú-Chile). Rev. Com. Perm. Pacífico Sur, 5: 3-62.
- Bewers, J.M., B. Sundby y P.A. Yeats. 1976. The distribution of trace metals in the western North Atlantic off Nova Scotia. Geochim. Cosmochim. Acta, 40:687-696.
- Calienes, R. 1973. Diversidad y Asociación del Fitoplancton en Callao. Tesis, Universidad Nacional San Agustín, Arequipa-Perú.
- Chester, R. y J. H. Stoner. 1974. The distribution of zinc, nickel, manganese, cadmium, copper and iron in some surface waters from the world ocean mar. chem., 2: 17-32.
- Guillén, O. y R. Aquino 1978. Contaminación de los Puertos del Callao y Chimbote y su Efecto en la Productividad. Inf. Inst. Mar. 61: 17 p.
- Guillén, O., R. Aquino, B. Valdivia y R. Calienes. 1978. Contaminación en el Puerto de Callao. Inf. Inst. Mar. 62: 14 p.
- Guillén, O. 1984. Diagnóstico sobre los Contaminantes que Afectan los Recursos Hidrobiológicos de los Países del Convenio "Andrés Bello". Rev. Convenio "Andrés Bello", 21: 89-132
- Guillén, O. 1964. Distribución y Variación Anual de Fosfatos y Oxígeno en la Región Marítima del Perú (Feb. 1961-Ene. 1962). Distribución y Variación Anual de Fosfatos y Oxígeno Disuelto en el Área Marítima del Perú

- durante el año 1962. Inf. Inst. Invest. Recurs. Mar, 28: 32 p.
- Guillén, O. 1985. Contaminación Marina en el Perú. Presentado al Seminario: Contaminación del Mar y su Efecto en los Recursos Pesqueros, Lima del 16 al 21 de Enero 1985.
- Guillén, O. 1981. Fuentes, Niveles y Efectos de la Contaminación Marina en el Perú. CPPS. Serie Seminarios y Estudios, 2: 51-116.
- Guillén, O. 1976. El Sistema de la Corriente Peruana. I. Parte: Aspectos Físicos, Actas de la Reunión de Trabajo sobre el fenómeno conocido como "El Niño". FAO Inf. Pesca 185: 243-284.
- Knauer, G.A. y J.H. Martfn. 1973. Seasonal Variation of cadmium copper, manganese, lead and zinc in water and phytoplankton in Monterrey Bay, Calif. Limnol. Oceanogr., 18: 597-604.
- Kremling, K. y H. Petersen. 1974. APDC-MIBK extration system for the determination of copper and iron in 1 cm³ of Seawater by flamaless atomic absorption spectrometry Anal. Chim. Acta 70: 35-39.
- Malnatti, L. 1976. La Contaminación de Aguas en el Perú y Rol del Ministerio de Salud en su Control. IV Reunión de Ministros de Salud de los Paises del Area Andina Convenio "Hipólito Unanue". Inf. 1-37.
- Ministerio de Salud, 1983. Decreto Supremo N°007-83-SA del 11 de Noviembre de 1983. Modificando los arts. 81 y 82 del Reglamento de los Títulos I, II y III de la Ley General de Aguas. El Peruano: 17 de Noviembre 1983.
- Murray, C.V. y L. Murray. 1973. Absorption description equilibria of some radionuclides in sediment-fresh

water and sediment-seawater systems. Symp. on interaction of radioactive contaminants with the constituents of the marine environment, International Atomic Energy Commission: 105-124.

- Riley, J.P. y D. Taylor. 1972. The concentration of cadmium, copper, iron, manganese, molybdenum, nickel, vanadium and zinc in part of the tropical north-east Atlantic Ocean. Deep-Sea Research, 19: 307-317.
- Valcarcel, G., F. Valdez y P. Vernal. 1974. Investigación sobre la Contaminación de las Aguas en el Litoral Peruano. Ministerio de Pesquería, 16: 249 p.
- Windom, H.L. y R. G. Smith 1972. Distribution of cadmium, cobalt, nickel and zinc in northeastern United States continental shelf waters. Deep. Sea Res., 19: 727-730.
- Zuta, S. y O. Guillén. 1970. Oceanografía de las Aguas Costeras del Perú. Bol. Inst. Mar, 2 (5): 157-324.

TABLA 1: NUMERO DE DATOS, CONCENTRACIONES PROMEDIOS, DESVIACIONES ESTANDAR Y COEFICIENTE DE VARIACION DE COBRE, PLOMO, CADMIO Y ZINC EN LA SUPERFICIE DEL MAR EN LAS BANDAS I, II, Y III DE LA FIG. 1

CRUCERO	BANDA I				BANDA II				BANDA III			
	N° DATOS	\bar{X}	CV		N° DATOS	\bar{X}	CV		N° DATOS	\bar{X}	CV	
a) COBRE												
8209	8	20.75	7.79	38	7	25.29	14.43	57	3	18.00	8.19	45
8212	6	29.83	14.74	49	6	24.50	12.60	51	2	27.50	4.95	18
8305	6	26.33	13.29	50	7	25.57	5.38	21	3	20.33	4.73	23
8403	5	20.00	9.90	49	5	18.60	8.38	45	2	13.50	7.78	58
8408	5	52.40	40.98	78	6	31.08	15.50	50	2	43.50	6.36	15
b) PLOMO												
8209	8	20.06	6.17	41	7	16.71	4.58	27	3	13.67	4.04	30
8212	7	10.00	2.94	29	7	11.79	7.90	67	2	11.25	6.01	53
8305	6	13.00	6.99	54	7	12.86	11.13	87	3	5.67	2.08	37
8403	5	16.00	9.62	60	5	8.80	5.25	60	3	10.67	0.58	5
8408	5	17.80	18.10	102	6	11.83	4.75	40	2	7.00	1.41	20
c) CADMIO												
8209	8	2.53	0.79	31	6	1.48	0.25	17	3	3.13	1.57	50
8212	7	1.83	0.75	41	7	3.73	2.69	72	2	1.70	0.28	17
8305	6	3.07	0.93	30	6	2.90	0.78	27	3	2.77	0.83	30
8403	5	0.58	0.28	47	5	2.42	4.24	175	3	0.43	0.03	7
8408	5	2.04	0.88	43	6	0.87	0.46	53	2	1.40	0.14	10
d) ZINC												
8403	5	157.00	89.27	57	5	77.00	58.59	76	3	113.33	117.30	103
8408	5	149.80	51.90	35	6	97.83	30.99	32	2	89.00	32.53	37

TABLA 2 : NUMERO DE DATOS, CONCENTRACIONES PROMEDIOS, DESVIACION ESTANDAR, COEFICIENTE DE VARIACIONES DEL COBRE, PLOMO, CADMIO Y ZINC EN EL AGUA DE MAR A UN METRO DEL FONDO MARINO EN LAS BANDAS I, II Y III DE LA FIG. 1

CRUCERO	BANDA I				BANDA II				BANDA III			
	N° DATOS	\bar{X}		CV	N° DATOS	\bar{X}		CV	N° DATOS	\bar{X}		CV
a) COBRE												
8209	2	13.50	3.54	26	3	7.33	2.52	34	3	9.17	3.33	36
8212	1	11.00			4	15.25	6.90	45	2	12.50	4.95	40
8305	6	13.50	5.43	40	7	14.57	4.39	30	3	13.00	3.61	28
8403	5	8.70	8.01	92	5	6.90	0.82	12	3	13.50	14.34	106
8408	5	7.30	3.27	45	6	91.83	107.65	117	2	85.75	88.74	103
b) PLOMO												
8209	1	8.00			3	11.00	2.29	21	3	10.67	3.33	31
8212	1	5.50			4	5.13	1.80	35	2	3.75	1.06	28
8305	6	12.50	6.09	49	7	6.71	1.25	19	3	5.00	1.73	35
8403	5	11.60	3.36	29	5	8.80	2.05	23	3	13.00	13.00	100
8408	5	9.20	6.87	75	6	16.83	16.58	99	2	17.25	1.06	6
c) CADMIO												
8209	2	1.15	0.07	6	3	1.43	0.12	8	3	2.17	0.51	24
8212	1	1.00			4	1.08	0.13	12	2	0.75	0.07	9
8305	6	2.57	0.93	36	7	2.50	0.76	31	3	4.00	0.62	16
8403	5	0.49	0.25	51	5	0.40	0.28	71	3	0.67	0.65	98
8408	5	0.87	0.27	31	6	0.83	0.43	51	2	1.18	0.67	57
d) ZINC												
8403	5	404.00	630.21	156	5	92.00	62.51	68	3	248.33	344.43	139
8408	5	93.80	21.60	23	6	126.83	64.53	51	2	154.50	71.42	46

TABLA 3 : NUMERO DE DATOS, CONCENTRACIONES PROMEDIOS, DESVIACION ESTANDARD Y COEFICIENTE DE VARIACION DEL COBRE, PLOMO, CADMIO Y ZINC (ppb) EN LA SUPERFICIE DEL MAR POR LATITUDES EN LAS BANDAS I, II y III DE LA FIG. 1

CRUCERO	BANDA I				BANDA II				BANDA III			
	Nº DATOS	\bar{X}		CV	Nº DATOS	\bar{X}		CV	Nº DATOS	\bar{X}		CV
a) COBRE												
8209	5	20.80	2.26	30	4	15.25	6.40	42	4	34.38	14.14	41
8212	3	29.00	16.09	55	3	18.67	6.81	36	2	26.00	8.49	33
8305	5	22.80	5.89	26	4	21.75	1.89	9	3	38.30	11.68	30
8403	4	24.25	8.88	37	4	15.75	9.46	60	4	15.00	5.10	34
8408	4	47.50	31.71	67	5	47.40	32.96	70	3	20.00	6.93	35
b) PLOMO												
8209	5	21.30	5.52	26	4	13.00	4.32	33	4	20.38	2.17	11
8212	4	6.88	1.31	19	3	11.50	3.50	30	3	11.33	0.58	5
8305	5	8.60	4.77	56	4	10.25	7.80	76	3	20.67	14.01	68
8403	5	16.40	8.96	55	4	9.88	4.21	43	4	8.63	5.25	61
8408	4	12.75	5.19	41	5	17.40	18.39	106	3	10.00	2.65	26
c) CADMIO												
8209	4	3.23	1.29	40	4	2.14	1.15	54	4	2.23	0.61	27
8212	4	2.45	1.45	59	3	2.30	0.85	37	3	2.60	1.04	40
8305	5	2.66	0.66	25	3	2.83	0.85	30	3	3.20	0.66	20
8403	5	0.67	0.24	35	4	0.40	0.07	18	4	2.80	4.80	171
8408	4	1.48	1.51	102	5	1.46	0.29	20	3	1.23	0.57	46
d) ZINC												
8403	5	172.00	75.38	44	4	52.50	31.22	59	4	110.00	102.55	93
8408	4	124.50	71.85	58	5	92.20	26.03	28	3	139.33	34.56	25

TABLA 4 : NUMERO DE DATOS, CONCENTRACIONES PROMEDIOS, DESVIACION ESTANDAR Y COEFICIENTE DE VARIACION DEL COBRE, PLOMO, CADMIO Y ZINC (ppb) EN EL AGUA DE MAR DE UN METRO DEL FONDO MARINO POR LATITUDES DE 01' EN 01' FRENTE AL PUERTO DEL CALLAO

CRUCERO	BANDA I				BANDA II				BANDA III			
	N° DATOS	\bar{X}		CV	N° DATOS	\bar{X}		CV	N° DATOS	\bar{X}		CV
a) COBRE												
8209	3	10.50	5.27	50	2	11.00	1.41	13	2	6.00	1.41	24
8212	1	16.00			2	14.50	7.78	54	3	15.33	5.13	33
8305	5	11.20	2.28	20	4	15.75	1.89	12	3	16.00	6.56	41
8403	5	13.20	12.16	92	4	6.50	0.71	11	4	6.63	2.93	44
8408	4	85.13	65.33	77	5	21.70	21.78	100	3	6.00	3.46	58
b) PLOMO												
8209	2	10.25	4.60	45	2	12.25	1.06	9	2	10.00	2.12	21
8212	1	4.50			2	3.50	0.71	20	3	5.50	2.00	36
8305	5	8.40	4.93	59	4	6.75	0.96	14	3	12.67	8.08	64
8403	5	12.00	9.14	76	4	9.00	2.94	33	4	11.25	4.35	39
8408	4	11.13	6.09	55	5	12.00	7.07	59	3	9.00	2.65	29
c) CADMIO												
8209	3	1.67	0.62	36	2	1.95	0.92	47	2	1.50	0	0
8212	1	0.80			2	0.80	0.14	18	3	1.10	0.10	9
8305	5	3.46	1.12	32	4	2.70	0.90	33	3	2.20	0.70	32
8403	5	0.52	0.51	98	4	0.64	0.31	49	4	0.33	0.09	27
8408	4	0.86	0.23	27	5	0.97	0.48	50	3	0.63	0.28	43
d) ZINC												
8403	5	496.00	626.06	126	4	97.50	29.01	30	4	88.75	70.75	80
8408	4	129.50	52.18	40	5	104.40	19.55	19	3	81.67	10.97	13

TABLA 5: COMPARACION DE LAS CONCENTRACIONES PROMEDIOS DE COBRE, PLOMO, CADMIO Y ZINC (ppb) EN EL AGUA DE MAR SUPERFICIAL DEL PUERTO DEL CALLAO CON OTRAS AREAS DEL MUNDO.

LOCALIDAD	COBRE	PLOMO	CADMIO	ZINC	REFERENCIA
Puerto Callao	26.7	13.4	2.1	115.5	Presenta Trabajo
Puerto Callao	20	29	51	52	Valcarcel <u>et al</u> (1974)
Puerto Callao	9.7				Guillén y Aquino (1978)
Puerto Callao		1.2			Guillén <u>et al</u> (1978)
Puerto Callao			1.58		Ancieta (1979)
Puerto Chimbote	11.3				Guillén y Aquino (1978)
Plataforma de Escocia	0.56		0.04	1.1	Bewers <u>et al</u> (1976)
Plataforma de Sur Africa	0.7		0.09	3.5	Chester y Stoner (1974)
Plataforma de Nor Atlantico	1.2		0.08	1.8	Chester y Stoner (1974)
Plataforma de Noroeste USA			0.11	7.4	Windom y Smith (1972)
Plataforma de Chile	1.3		0.15	6.5	Knauer y Martin (1973)
Oceano Noroeste	1.0		0.11	6	Diley y Talylor (1972)
Promedios de Aguas Costeras	0.7		0.09	3.5	Chester y Stoner (1974)
Promedio de Aguas Oceánicas	0.8		0.07	1.4	Chester y Stoner (1974)
Ley General de Aguas Clase V	10	10	0.2	20	Ministerio de Salud (1983)
Ley General de Aguas Clase VI		30	4.0		Ministerio de Salud (1983)

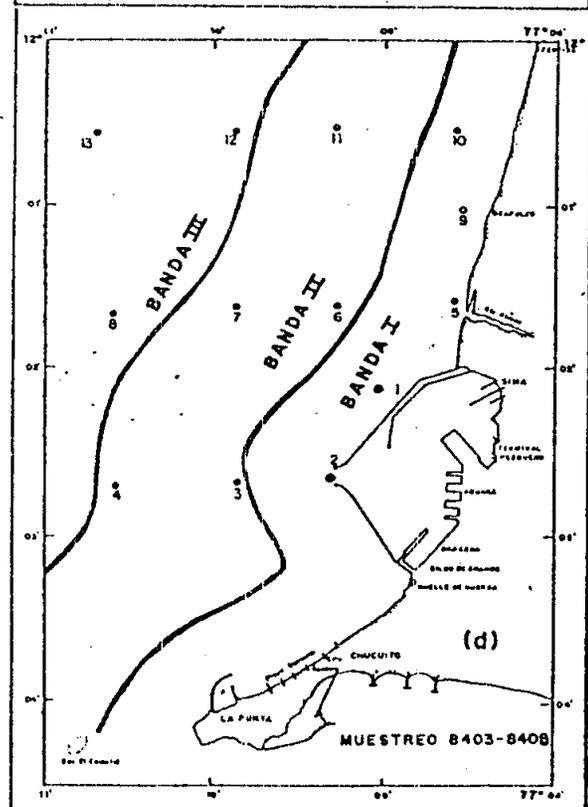
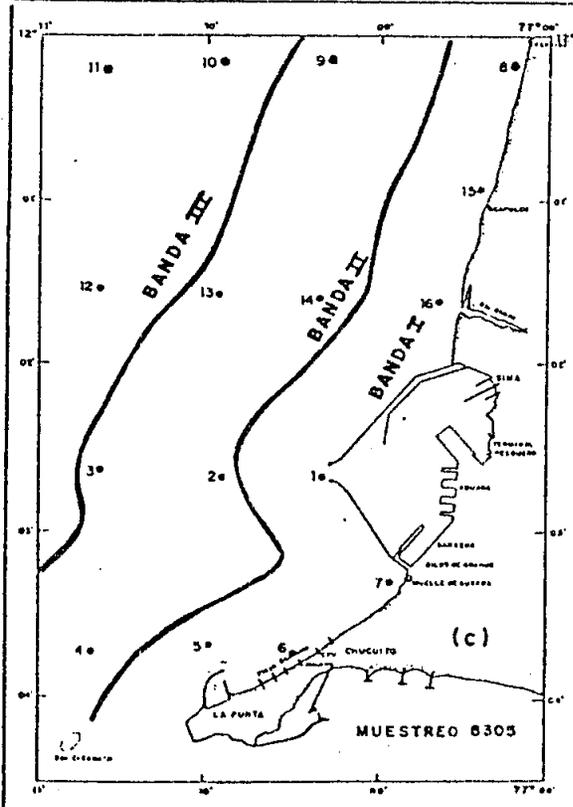
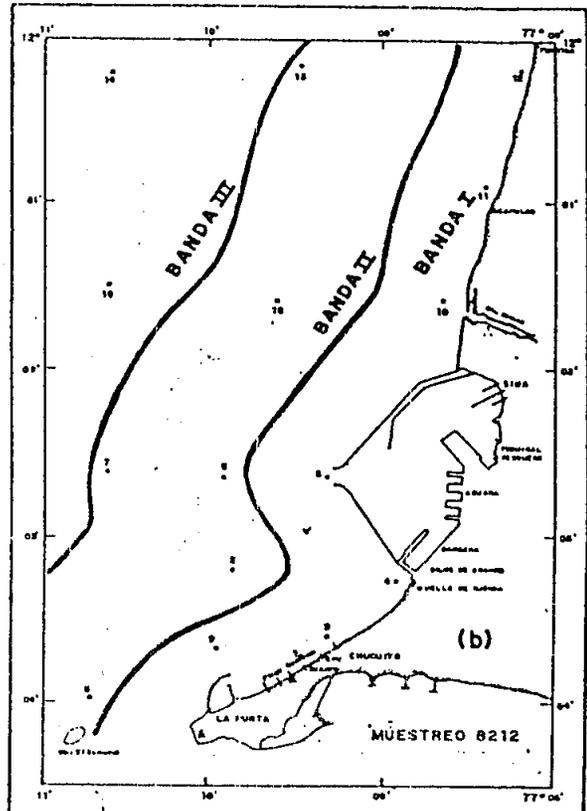
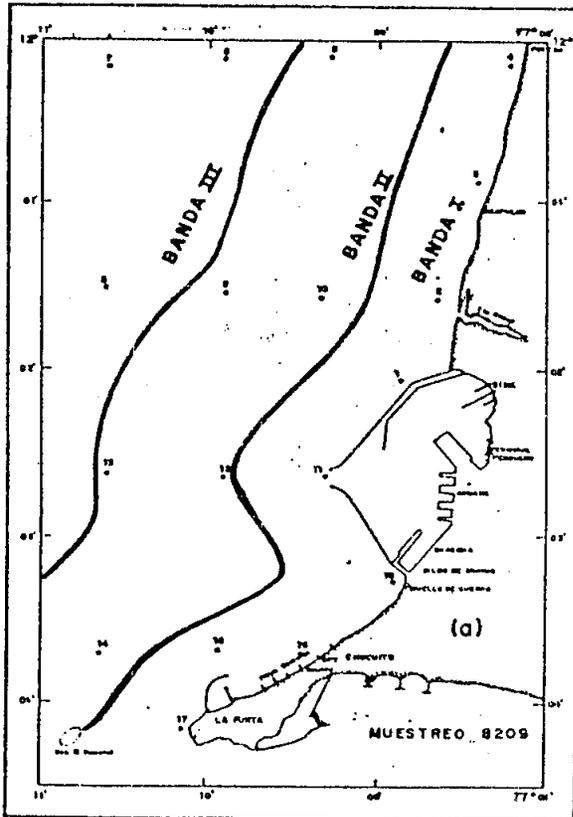


Fig. 1c CARTA DE POSICIONES DEL MUESTREO 8305

Fig. 1d CARTA DE POSICIONES DEL MUESTREO 8403 y 8408

Fig. 1-CARTAS DE UBICACION DE ESTACIONES DE MUESTREO

Fig. 2

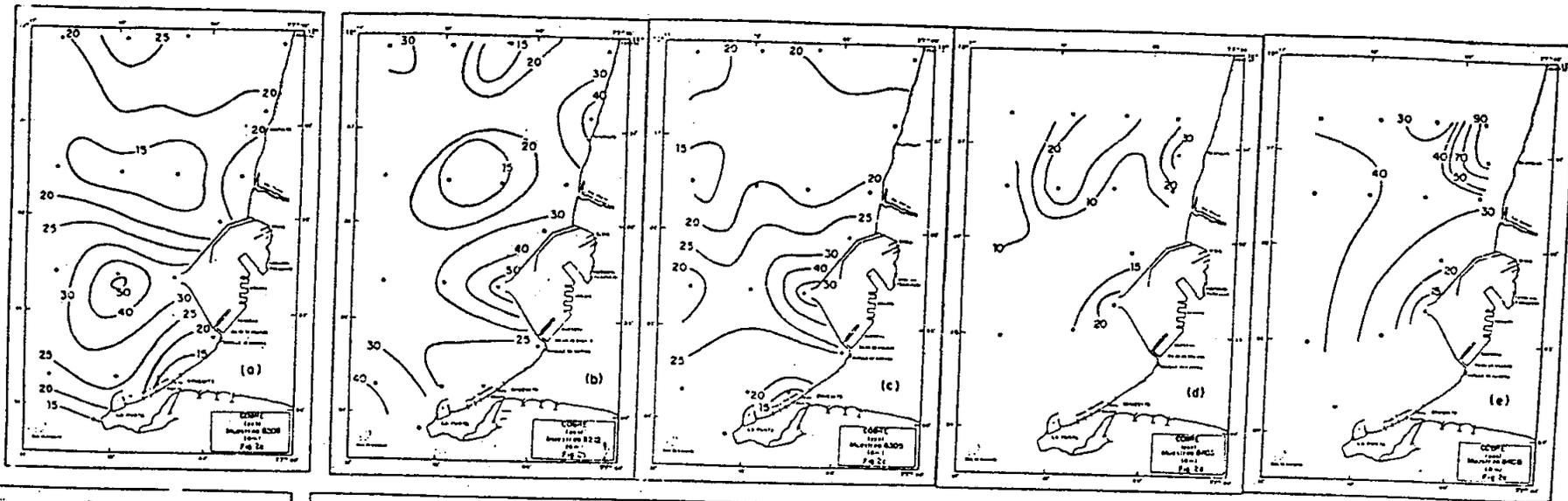


Fig. 3

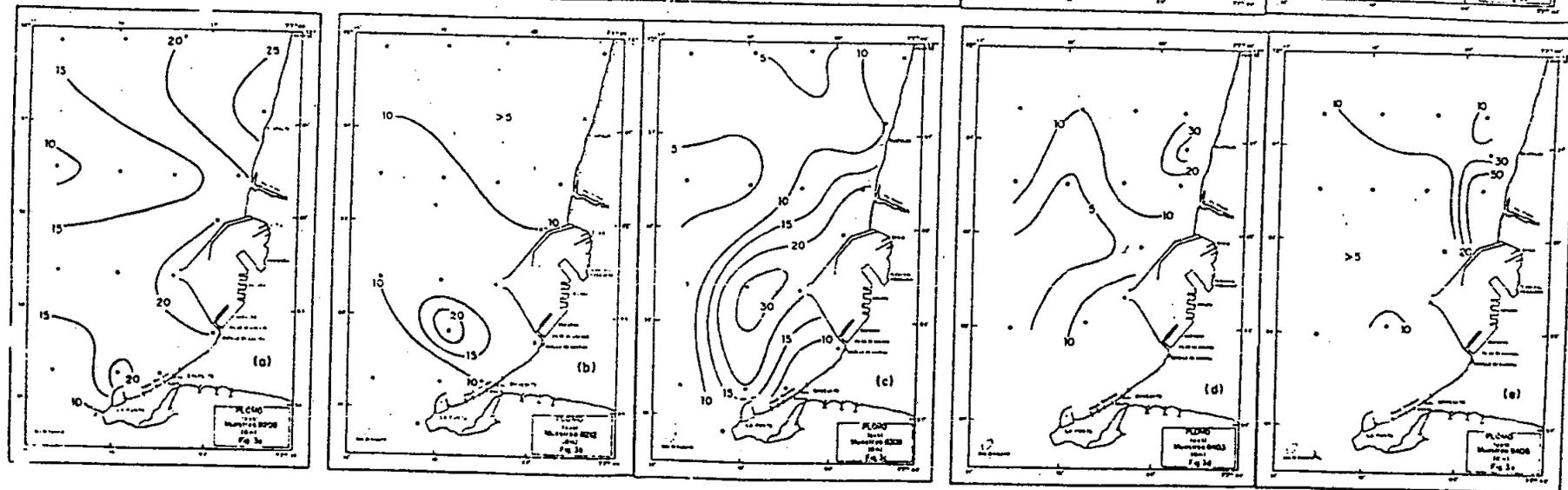


Fig. 4

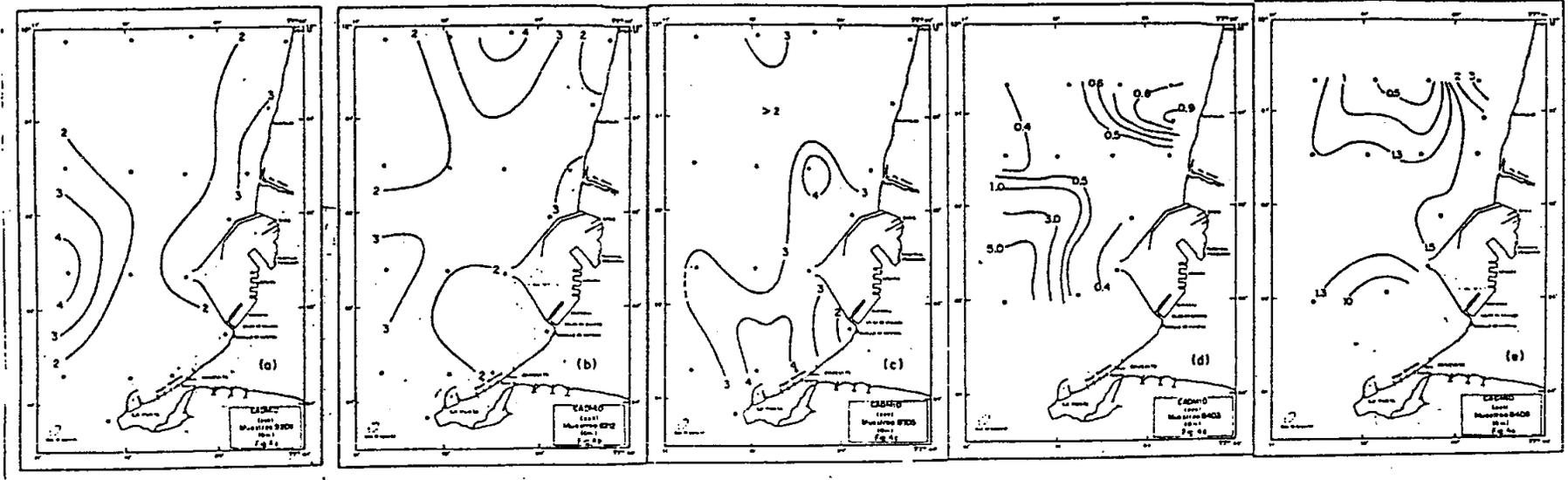


Fig. 5

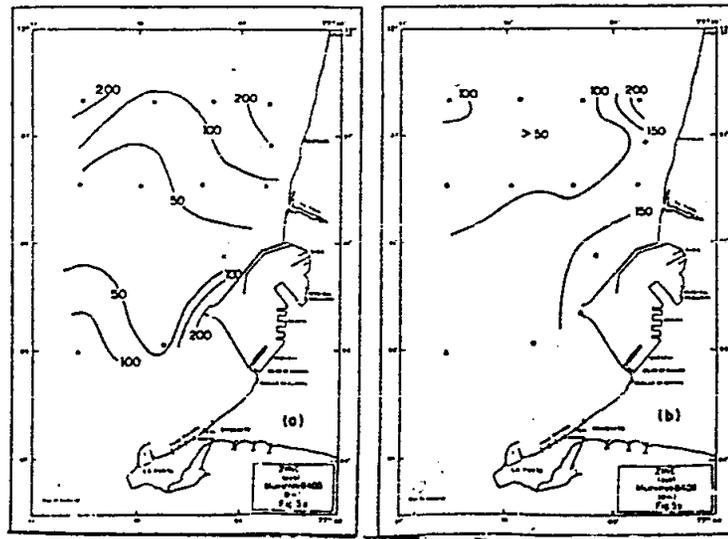


Fig. 6

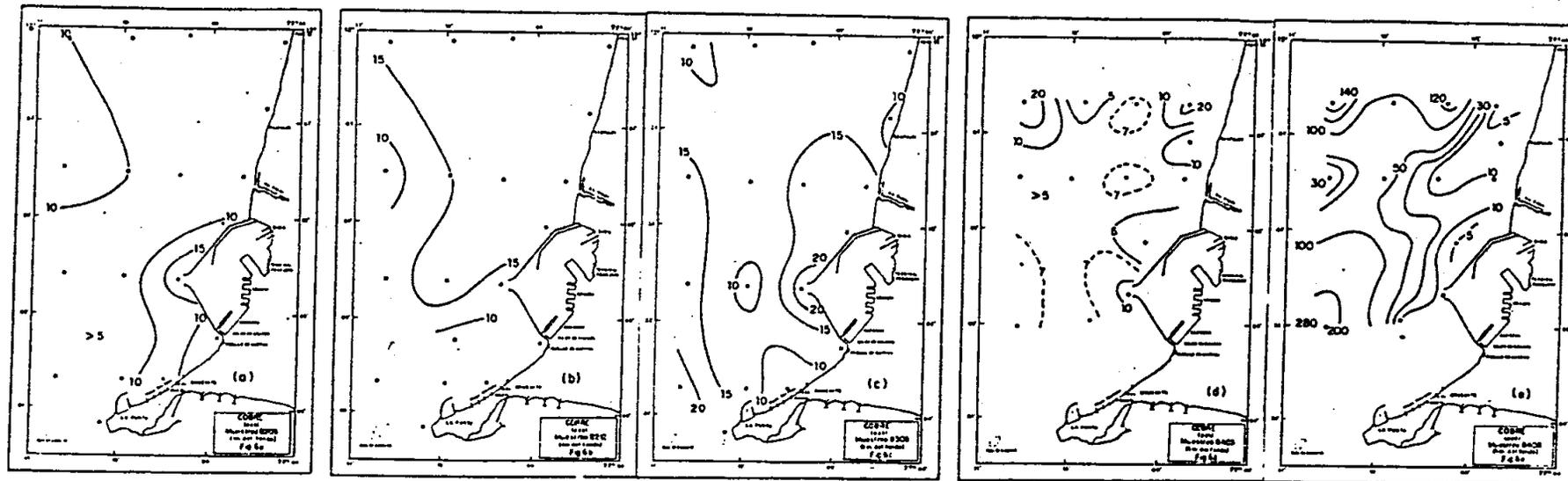


Fig. 7

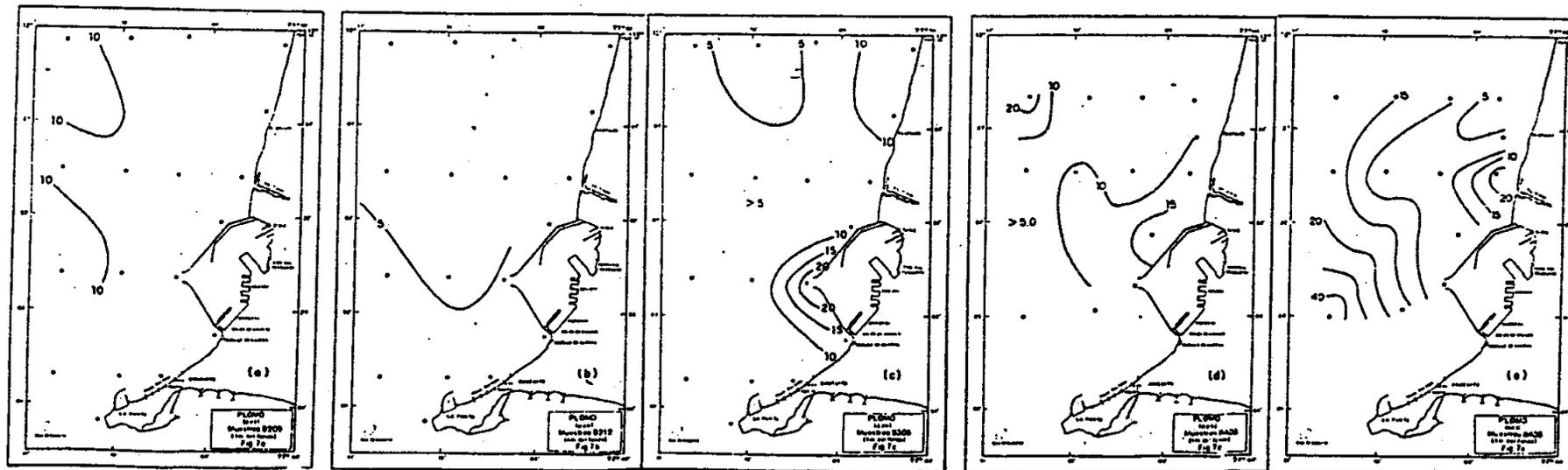


Fig. 8

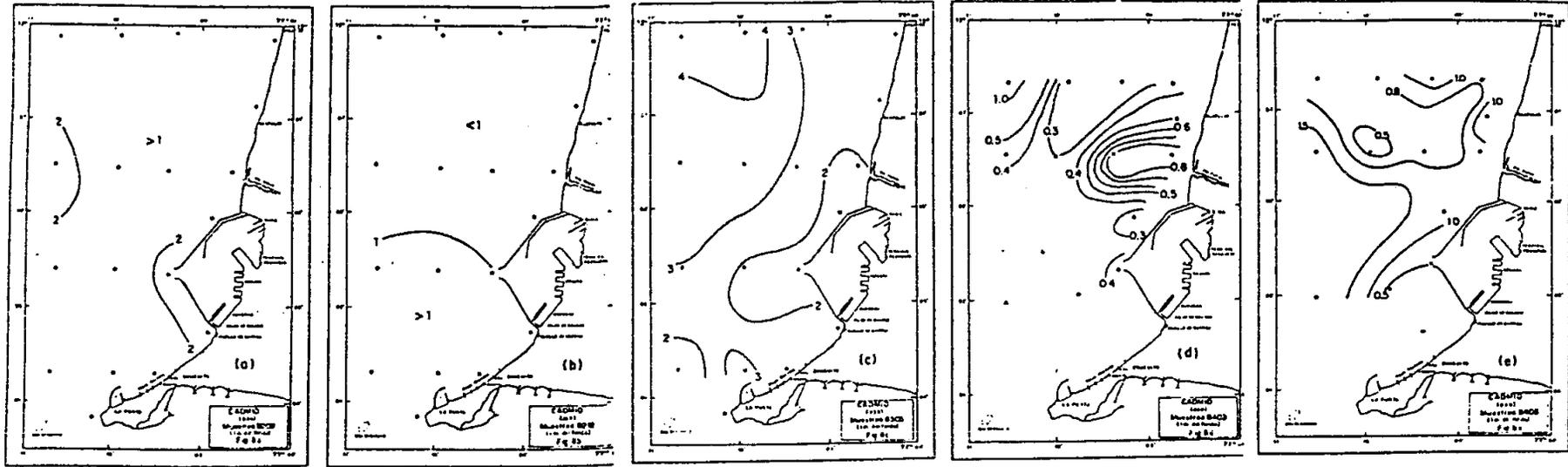
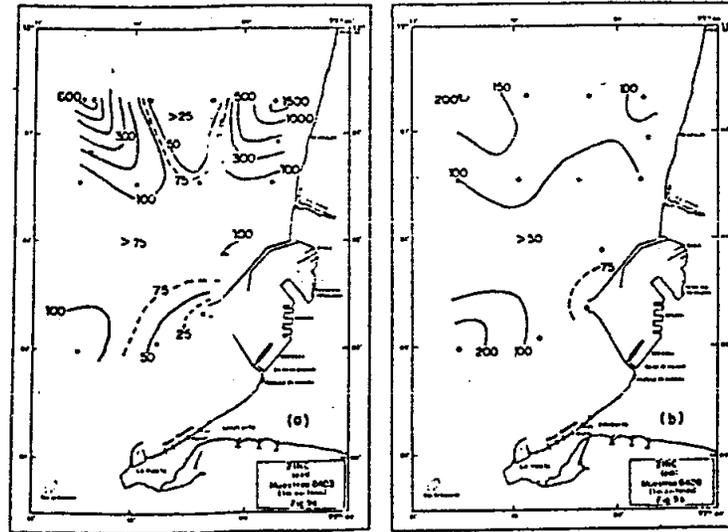


Fig. 9



DISTRIBUCION DE COBRE, PLOMO, ZINC Y CADMIO EN LOS SEDIMENTOS DEL PUERTO DEL CALLAO

Por

Oscar Guillén, César Delgado y Reynaldo Poma

1. INTRODUCCION

Los sedimentos marinos son el último recipiente de casi todas las trazas de metales introducidas por la actividad del hombre dentro del ecosistema marino. Los metales son un constituyente común de casi todos los sedimentos y son estudiados como tales, no solamente por sus efectos tóxicos directos sino también como indicadores para evaluar el comportamiento de ciertos desechos.

Las concentraciones de los metales en los sedimentos marinos están determinadas por equilibrios dinámicos complejos, que dependen de factores físicos, químicos y biológicos (Murray y Murray, 1973). Los centímetros superiores de los sedimentos contienen generalmente trazas de metales mucho mayores que las halladas en la columna de agua sobreyacente, incluyendo las partículas en suspensión y la biota, y aunque las concentraciones son diferentes para las diversas áreas geográficas, las variaciones estacionales en la física y química de la columna de agua influyen grandemente la distribución de ellas en los sedimentos (Hatcher y Segar, 1976).

El Puerto del Callao (Perú) recibe diversas cantidades de metales, los que se encuentran bajo diferentes formas en las aguas de las descargas del Río Rimac y de la Rada Interior del Puerto, las que contienen desechos domésticos e industriales, principalmente.

Las fuentes, características y niveles de estos elementos han sido dadas por Guillén et al (1978) y Guillén (1981). La circulación y tasas de flujo en el Puerto incrementan el tiempo de residencia de los contaminantes introducidos. La pesca comercial es aún sostenida, aunque el rendimiento de las especies comerciales han declinado drásticamente en las últimas décadas. Un decrecimiento similar ha sido observado en la diversidad de fauna bentónica y en la cosecha estable. Así, muchas especies comunes del área hasta 1960 no se han recuperado en los años recientes.

En el presente trabajo se hace un estudio comparativo de las distribuciones de las trazas de elementos (Cu, Pb, Zn y Cd) y de sus variaciones estacionales en el área del Puerto del Callao.

2. MARCO OCEANOGRÁFICO-GEOLOGICO DEL AREA

El área estudiada presenta aspectos oceanográficos y geológicos muy singulares: se encuentra en un centro de afloramiento costero importante, con las consiguientes características particulares: bajas temperaturas, bajos contenidos de oxígeno, altos contenidos de nutrientes y alta productividad primaria (Zuta y Guillén, 1970); los vientos predominantes son del SE(140-160°) y tiene velocidades de 3-7 m/seg (L. Pizarro, comun. pers.); las corrientes locales, de superficie y de fondo, se manifiestan en todas las direcciones, siendo las prevaletientes las del SE, con velocidades variables que pueden llegar a 36 cm/seg, aunque las más comunes son menores de 25 cm/seg (O. Morón, comun. pers.).

En el área de estudio desemboca el Río Rímac, con una descarga promedio de 29 m³/seg, pudiendo transportar en suspensión hasta 915 ton./año de material fino, según cálculos conservadores de acuerdo a lo recomendado por Renard y Lane(1975);

durante épocas de avenidas excepcionales, como en 1982/83, podrían ser transportadas más de 2 millones de toneladas.

La mayor parte de la Bahía del Callao está cubierta por fango arcillo-limoso color verde oliva claro (sedimento seco), que llega a constituir un fango limeramente diatoméico por influencia de la productividad de las aguas, con contenidos de C-Org. $> 2\%$; sin embargo, frente a la desembocadura del Río Rimac y de la Rada del Puerto se observa una lengua de fango limo-arcilloso color pardo claro (sedimento seco), con contenidos de C-Org. $< 2\%$, que son sedimentos terrígenos típicos del río (Delgado y Gomero, 1985).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para el presente estudio se han tomado los datos de trazas de metales en sedimentos correspondientes a los Muestreos 8209, 8305, 8403 y 8408. La ubicación de las estaciones es mostrada en la Fig. 1.

Para el estudio comparativo y de variaciones, el área de estudio ha sido dividida por latitudes de $01'$ y por distancias desde la costa: < 1 , 1-2, y 2-5 Km.

Las muestras de sedimento superficial fueron colectadas con una draga Van Veen, y guardadas en bolsas de polietileno, hasta su análisis posterior en el laboratorio. Los sedimentos fueron secados a 60°C , molidos y homogenizados. El análisis de trazas de metales fue realizado siguiendo básicamente la metodología recomendada por Eisler et al (1977). El procedimiento resumido es el siguiente: 2.5 g de sedimento seco y molido fueron digeridos dentro de un vaso Pyrex de 250 ml con 10 ml de ácido nítrico concentrado y 0.5ml de peróxido de hidrógeno al 30% luego se evaporó hasta la sequedad. Se dejó enfriar unos 5 minutos hasta la temperatura ambiente del laboratorio, se adiciona unos 20ml de agua deionizada-destilada. Se filtró la solución a tra

vés de filtro Whatman N°42 y se llevó al volumen final de 100 ml con agua deionizada-destilada. Las mediciones fueron efectuadas a la llana con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Perkin Elmer Modelo 403. Las concentraciones fueron medidas como ppm (µg/g) sobre la base de peso seco.

RESULTADOS

La distribución de la temperatura a 1 m del fondo marino es mostrada en la Figura 1, en la que se observa un flujo de oeste al este; este flujo estuvo muy bien marcado durante El Niño (Fig. 2b) con temperaturas mayores de 24.5°C. El flujo dominante hacia la costa frente al Río Rimac también se nota en el invierno de 1984 (Fig. 2d), el cual probablemente tuvo un marcado efecto sobre la distribución observada de las trazas de metales: cobre, zinc y plomo, especialmente, causada por el transporte hacia la costa de sedimentos no contaminados; hallándose consecuentemente bajas concentraciones de esos metales. También se observa que el verano "frio" de 1984 fue ligeramente más caliente que el invierno de 1982, excepto cerca de la costa, donde se halló un grado más alto de temperatura (Fig. 2c) frente a la desembocadura del Río Rimac. Por otro lado, el invierno de 1984 fue más frío que el invierno de 1982 en toda el área de estudio. Estas variaciones en el carácter físico de las aguas han tenido gran influencia en la distribución de las trazas de metales en el sedimento.

La distribución del cobre, plomo, cadmio y zinc en los sedimentos superficiales mostraron grandes variaciones (Fig. 3 a 6). El promedio de los muestreos, considerando todos los datos comprendidos entre las latitudes 12°00' y 12°03'S, fue de 122, 173, 6 y 251 ppm para el cobre, plomo, cadmio y zinc, respectivamente. Las mayores concentraciones cerca de la costa fueron halladas frente a la Rada Interior durante el invierno 1984 (Figs. 3d, 4d,

5d y 6b) con valores de: >200 ppm de cobre, >200 ppm de plomo, >10 ppm de cadmio y >1000 ppm de zinc.

Las máximas concentraciones de cobre (>300 ppm), plomo (>300 ppm), y cadmio (>15 ppm) fueron halladas frente al Rfo Rímac, a dos millas de la costa en el verano 1984 (Fig. 3c), otoño 1983 (Fig. 4b) y verano 1984 (Fig. 5c), respectivamente, como resultado de la acumulación de los sedimentos descargados por el rfo, principalmente. Las máximas concentraciones de zinc fueron encontradas frente y cerca de la Rada Interior (Fig. 6b), debido al transporte de las aguas provenientes de su interior, que contienen desechos industriales provenientes de las actividades del SIMA (Servicio Industrial de la Marina).

Las menores concentraciones de cobre, plomo y zinc (<10 ppm) fueron encontrados frente al Rfo Rímac en el invierno 1984. Esta baja concentración se debe al fuerte transporte de los sedimentos superficiales hacia la costa, causado por las fuertes corrientes de fondo que predominaron en este fuerte invierno, modificando la distribución de los sedimentos. Por otro lado, la distribución vertical de las trazas de metales en los sedimentos no es homogénea, sino que está sujeta a las fluctuaciones estacionales y al tiempo de residencia de ellos. Los menores valores de concentración de metales fueron encontrados en el Rfo Rímac-Rada Interior (<10 ppm) correspondientes al invierno 1982, primavera 1982 y verano 1983 (Fig. 5a, 5b y 5c).

Comparando la distribución de las trazas de metales en los sedimentos (Fig. 3 a 6) para el período 1982-1984, se observó un incremento de la concentración de cobre y plomo en el otoño de 1983, con una concentración promedio de 134 y 257 ppm, respectivamente. Esto puede deberse a la remoción de los sedimentos superficiales causados por el efecto de el Fenómeno El Niño, cuyas aguas dominaron el área de estudio, aumentando las concentracio-

nes en el verano 1984 debido a la adición de cobre y plomo contenidos en la descargas del Rfo Rímac. También incide en la mayor concentración la mayor descarga fluvial del rfo durante El Niño respecto a los años normales.

En el invierno 1984 se observó una disminución con respecto al verano 1984, de la concentración de cobre, plomo y cadmio (94, 50 y 2.8 ppm, respectivamente), debido probablemente, en parte, a las fuertes corrientes de fondo y a los procesos de dispersión reinantes en el invierno frío, excepto frente a la Rada Interior donde aumentó la concentración de cobre hasta más de 200 ppm.

La distribución de cadmio en los sedimentos superficiales mostró una mínima disminución en el otoño 1983, excepto lejos de la costa, donde las concentraciones fueron mayores de 10 ppm (5b), mientras que dichos valores aumentaron en general en el verano 1984 y decrecieron en general durante el invierno 1984, debido al transporte de los sedimentos por las corrientes de fondo y a procesos de circulación del área. La distribución del zinc en los sedimentos presentó un aumento en el invierno 1984 (Fig. 6b) respecto al verano 1984 (Fig. 6a), excepto frente al Rfo Rímac donde se hallaron concentraciones menores de 50 ppm originados por el fuerte transporte de sedimentos de oeste a este.

5. DISCUSION

Las principales fuentes de contaminación en el Puerto del Callao son: 1) Las aguas procedentes de la Rada Interior que contienen los residuos industriales de la actividad del SIMA, principalmente y 2) La descarga de las aguas del Rfo Rímac, que contienen gran cantidad de residuos industriales, mineros y desechos domésticos. Su efecto y variabilidad puede apreciarse en la distribución de las concentraciones de cobre,

plomo, cadmio y zinc en los sedimentos del área de descarga, cuyas variaciones son mostradas en las Tablas 1 y 2 y en las Figuras 3 a 6, que reflejan el efecto de las corrientes de fondo y de los procesos de mezcla y circulación del área.

La variabilidad en el rango de distribución del cobre, plomo, cadmio y zinc son debidas a complejos procesos que dependen de factores físico-químicos, corrientes de fondo, procesos de mezcla, etc. Así, el material disuelto o en suspensión que llega al mar es redistribuido por las corrientes al alejarse de las costas; primero se depositan los minerales más gruesos y más densos, y el material más fino y más ligero prosigue su deriva hasta ser depositado más lejos en el fondo marino. Por otro lado, el transporte de los sedimentos está relacionado con las variaciones en el tamaño de las partículas. La velocidad de sedimentación depende de la densidad, tamaño y contorno de la partícula y la densidad y viscosidad del agua. El fango limoso-arcilloso es otro componente importante de los depósitos costeros que se encuentran cerca de la desembocadura del Río Rímac y en el resto de la Bahía. Estos sedimentos finos llegan a entorpecer el fondo y disminuyen la transparencia del agua. La fauna bentónica puede ser afectada por la acumulación de metales pesados en los sedimentos, ya que su capacidad de acumulación varía de 10 mil a 100 mil veces.

El área del Puerto del Callao es una área dinámica, en la que ocurre transporte de sedimentos hacia fuera y hacia dentro de la costa, dependiendo de las variaciones de las corrientes de fondo en diferentes épocas del año. Si asumimos que las variaciones en la distribución de cobre, plomo, cadmio y zinc (Figs. 3 a 6 y Tablas 1 y 2) en los sedimentos superficiales, son debida principalmente a la redistribución de la misma masa de sedimentos a través del área

(usando similares técnicas analíticas), entonces en cada estación la distribución de los metales mencionados serán distribuidos en forma similar pero alrededor de diferentes promedios en diferentes épocas del año. Así frente y cerca de la desembocadura del Rfo Rímac se hallan valores de 10 a 180 ppm de cobre, 20 a 250 ppm de plomo, 3 a 5 ppm de cadmio y 10 a 300 ppm de zinc.

Las máximas concentraciones de estos metales fueron hallados frente a las descargas procedentes de la Rada Interior del puerto, cuyas concentraciones, al igual que las de las descargas del Rfo Rímac, decrecen conforme se alejan de la costa, debido a la mayor precipitación de estos elementos, a medida que se distancian de la costa, dando como resultado general una mayor concentración de los metales en los sedimentos, debido en parte al transporte de las corrientes de fondo, las que periódicamente cambian de dirección y fuerza, originando cambios notorios en la distribución de estos metales en los sedimentos.

Como consecuencia de los procesos de circulación, corrientes de fondo y de turbidez, actividad biológica, etc. estos sedimentos de la zona costera son intermezclados, dispersados y transportados de un lugar a otro, dando como resultado, en algunos casos, áreas de mayor concentración tales como las máximas encontradas a dos millas de la costa, frente al río Rímac (Figs. 3c, 4b y 5c) con valores: > 300 ppm de cobre, > 300 ppm de plomo, y > 15 ppm de cadmio, producto de la acumulación en los sedimentos de estas sustancias contaminantes, que pueden ser inhibidoras o tóxicas si están en altas concentraciones o bajo ciertas formas químicas. Otra área con concentraciones relativamente altas de cobre, plomo y zinc es la situada frente a Acapulco (Fig. 3, 4 y 6); excepto el invierno 1984 donde se halló bajísimas concentraciones.

nes de cobre (Fin. 3d) y el verano 1983 donde se hallaron valores bajos de zinc (Fin. 6a).

La Tabla 1 muestra las concentraciones promedio, desviación estandar y coeficiente de variación por latitudes (de 01' en 01'), frente al área de estudio; asimismo, en la Tabla 2 se da las concentraciones promedio, desviación estandar y coeficiente de variación, a distancias <1 Km, 1-2 Km y 2-5 Km de la costa, frente al Rfo Rímac, Rada Interior y el área de Acapulco-Fertiza, donde se puede apreciar sus variaciones y el efecto de los cambios de las condiciones oceanográficas en la distribución de las trazas de metales en los sedimentos superficiales.

En la Tabla 3 se da una comparación de las concentraciones de cobre, plomo, cadmio y zinc del área de estudio con las de otras áreas costeras marinas y continentales. La concentración máxima promedio de cobre (129 ppm) hallada en el Puerto del Callao fue menor al máximo encontrado en la zona costera del sur de California (300 ppm) y de Long Island Sound (279 ppm) y muy inferior a lo encontrado en la Bahía de Raritan (1230 ppm). La máxima concentración promedio de plomo de 201 ppm, se encuentra por debajo de los máximos correspondientes a la zona costera del sur de California, y muy inferior a los encontrados en la Bahía de Raritan (985 ppm); asimismo, los valores promedios del Puerto del Callao son mayores que los encontrados en la Bahía de New York y la Bahía de Ite.

La máxima concentración promedio de cadmio (6.4 ppm) fue menor al máximo encontrado en las otras áreas, excepto la Bahía de Ite, y muy inferior a los encontrados en el Puerto de Corpus Christi (130 ppm); por otro lado, el menor valor promedio correspondiente al área frente a Acapulco es más de tres veces mayor que el promedio hallado en la Bahía de Ite.

Los altos valores, de hasta 11,000 y 1530 ppm de zinc hallados en los sedimentos de Corpus Christi y zona costera del sur de California, respectivamente muy superiores a los valores promedios del Puerto del Callao.

Las máximas concentraciones halladas en el Rfo Rfmac, de cobre, plomo, cadmio y zinc, son más bajos que los encontrados en el Rfo Providence y Rfo Bivth.

6. REFERENCIAS

- Carnody, D.J., Pearce, J.B. y Yasso, W.E., 1973. Trace metals in sediments of the New York Bight. *Mar. Pollut. Bull.*, 4:123-135.
- Cooper, B.S. y Harris, R.C., 1974. Heavy metals in organic phases of river and estuarine sediment. *Mar. Pollut. Bull.*, 5: 24-26
- Delgado, C. y Gomero, R., 1985. Algunas observaciones sobre las características de los sedimentos del área: San Lorenzo-La Punta. Informe Interno IMARPE, Set. 1985.
- Eisler, R., Lapan, L.R., Telek, G., Davey, W.E., Soper, E.A. y Barry M. Determination of Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn in marine sediments. *Mar. Poll. Bull.*, 8, N°11.
- Greig, R.A. y Grath, A.Mc., 1977. Trace metals in sediments of Raritan Bay. *Mar. Pollut. Bull.*, 8: 188-192
- Greig, R.A., Reid, R.N. y Wenzloff, D.R., 1977. Trace metals concentrations in sediments from Long Island Sound. *Mar. Pollut.*
- Guillén, O., Aquino, R., Valdivia, B. y Calienes, R., 1978. Contaminación en el Puerto del Callao. *Inf. Inst. Mar.* 62:14p.
- Guillén, O. 1981. Fuentes, Niveles y Efectos de la Contaminación Marina en el Perú. CPPS, Serie Seminarios y Estudios, 2:51-116.
- Guillén, O., 1985. Contaminación Marina en el Perú. Presentado al Seminario: Contaminación del Mar y su efecto en los Recursos Pesqueros, 16-21 Enero de 1985, Lima.
- Hatcher, P.G. y Segar, D.A., 1976. Chemistry and continental marine sedimentation. En : D.J. Stanley and D.J.P. Swift, eds., *Marine Transport and Environmental Management*. John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 461-477.

- Holmes, C.W., Slade, E.A. y McLerran, C.J., 1974. Migration and redistribution of zinc and cadmium in marine estuarine systems. *Environ Sci. Technol.*, 9:255.
- Lopez, T.S., 1982. Determinación de metales pesados (Cu, Fe, Pb y Cd) en agua y sedimentos marinos por espectrofotometría de absorción atómica en la Bahía de Ite. Universidad Nacional del Callao, Tesis, 119 p.
- Murray, C.V. y Murray, L., 1973. Absorption-desorption equilibraria of some radionuclides in sediment-fresh water and sediment-seawater systems-Symp. on interaction of radioactive contaminants with the constituents of the marine environment, pp. 105-124. International Atomic Energy Commission.
- Renard, K.G. y Lane, L.T., 1975. Sediment Yield as related to stochastic model of ephemeral runoff. En: *Present and Prospective Technology for Predicting Yields and Sources*, Ref. ARS-1-40, U.S. Dep. of Agriculture, Agricultural Research Station, Southern Region, New Orleans.
- Zuta, S. y Guillén, O., 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú *Bol. Inst. Mar*, Vol. 2(3): 157-324

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Ubicación de las estaciones en el área de estudio:
- Estaciones del Muestreo 8209 (Set. 1982)
 - Estaciones del Muestreo 8305 (Mayo, 1983)
 - Estaciones del Muestreo 8403 (Marzo, 1984)
 - Estaciones del Muestreo 8408 (Agosto, 1984)
- Figura 2. Distribución de la temperatura del agua a 1m. del fondo:
- Temperatura durante Setiembre de 1982
 - Temperatura durante Mayo de 1983
 - Temperatura durante Marzo de 1984
 - Temperatura durante Agosto de 1984
- Figura 3. Distribución del Cobre(ppm) en los sedimentos:
- Distribución del Cobre en Setiembre de 1982
 - Distribución del Cobre en Mayo de 1983
 - Distribución del Cobre en Marzo de 1984
 - Distribución del Cobre en Agosto de 1984
- Figura 4. Distribución del Plomo(ppm) en los sedimentos:
- Distribución del Plomo en Setiembre de 1982
 - Distribución del Plomo en Mayo de 1983
 - Distribución del Plomo en Marzo de 1984
 - Distribución del Plomo en Agosto de 1984
- Figura 5. Distribución del Cadmio(ppm) en los sedimentos:
- Distribución del Cadmio en Setiembre de 1982
 - Distribución del Cadmio en Mayo de 1983
 - Distribución del Cadmio en Marzo de 1984
 - Distribución del Cadmio en Agosto de 1984
- Figura 6. Distribución del Zinc(ppm) en los sedimentos:
- Distribución del Zinc en Marzo de 1984
 - Distribución del Zinc en Agosto de 1984

TABLA 1 : PROMEDIO, DESVIACION ESTANDAR, Y COEFICIENTE DE VARIACION POR LATITUDES DE LAS CONCENTRACIONES DE COBRE, PLOMO, CADMIO Y ZINC EN SEDIMENTOS EN EL PUERTO DEL CALLAO

CRUCERO	Latitud:12°00'-12°01'S			Latitud:12°01'-12°02'S			Latitud:12°02'-12°03'S					
	N°	X	CV	N°	X	CV	N°	X	CV			
COBRE												
8209	5	83.26	4.31	5.18*	2	85.81	6.36	7.41	3	76.25	16.0	21.03
8305	4	120.46	8.9	7.39	4	141.16	61.36	43.47	2	145.76	4.89	3.36
8403	2	164.7	49.36	29.97	4	207.4	70.66	34.07	3	158.76	69.41	43.72
8408	4	142.65	50.53	35.42	4	3.03	2	66.0	4	136.3	90.64	66.5
PLOMO												
8209	5	112.13	63.54	56.67	2	148.14	28.27	19.08	3	134.36	49.98	37.2
8305	4	179.86	38.77	21.55	4	213.18	88.81	41.66	3	418.73	419.32	100.14
8403	2	269.5	84.57	31.38	4	238.65	111.16	46.58	3	205.07	106.15	51.76
8408	4	71.92	57.41	79.83	4	30.68	40.47	131.93	4	48.79	58.16	119.21
CADMIO												
8209	5	5.22	0.64	12.21	2	5.95	0.41	6.89	3	6.58	4.08	62.06
8305	4	3.93	1.35	34.39	4	5.62	4.0	71.19	2	8.47	6.21	73.30
8403	2	7.25	1.06	14.63	4	10.53	6.58	62.47	3	5.97	3.77	63.16
8408	4	1.2	0.27	22.66	4	2.79	1.91	68.64	4	4.50	1.74	38.59
ZINC												
8403	2	4.4	3.54	80.35	4	212.26	166.43	78.41	3	284.9	61.57	21.61
8408	4	427.9	204.14	47.71	4	142.98	266.75	186.57	4	434.5	519.06	119.46

TABLA 2 : PROMEDIO, DESVIACION ESTANDAR, Y COEFICIENTE DE VARIACION POR DISTANCIAS DE LA COSTA DE LAS CONCENTRACIONES DE COBRE, PLOMO, CADMIO Y ZINC EN SEDIMENTOS EN EL PUERTO DEL CALLAO

CRUCERO	Area 1 Km			Area de 1 a 2 Km			Area de 2 a 5 Km					
	N°	X	CV	N°	X	CV	N°	X	CV			
COBRE												
8209	4	84.86	4.52	5.32	2	74.02	23.04	31.12	4	82.28	2.07	2.52
8305	4	121.69	15.52	12.76	2	104.41	8.05	7.71	4	160.6	47.60	29.64
8403	3	129.49	50.56	39.04	3	197.56	2.86	1.45	3	218.03	83.14	38.13
8408	5	85.28	87.15	102.19	3	127.36	109.29	85.80	4	79.85	88.04	110.26
PLOMO												
8209	4	143.35	77.0	53.71	3	122.12	39.89	32.67	3	106.74	19.52	18.28
8305	6	294.92	299.21	101.45	2	180.30	32.10	17.80	4	225.17	80.91	35.93
8403	3	182.6	65.13	35.66	3	345.2	37.19	10.77	3	175.13	51.04	29.14
8408	5	35.32	31.82	90.32	3	56.15	69.5	122.77	4	65.22	64.61	99.00
CADMIO												
8209	4	6.07	3.45	56.87	4	5.36	0.79	14.87	3	5.51	0.76	13.90
8305	3	3.32	0.30	9.03	4	4.85	2.89	59.73	4	8.71	4.09	46.94
8403	3	5.0	3.0	60.0	3	8.8	2.04	23.20	3	11.03	7.59	68.84
8408	5	3.04	1.56	51.51	3	2.76	1.58	57.49	4	2.61	2.98	114.16
ZINC												
8403	3	197.63	174.0	88.04	3	234.5	201.47	85.91	3	138.71	128.15	92.38
8408	5	469.5	442.04	94.15	3	241.6	366.72	151.75	4	237.25	233.08	98.24

TABLA 3 : COMPARACION DE LAS CONCENTRACIONES PROMEDIO DE COBRE, PLOMO, CADMIO Y ZINC EN SEDIMENTOS DEL AREA DE ESTUDIO CON OTRAS AREAS COSTERAS

LUGAR	CONCENTRACION PROMEDIO (ppm)				REFERENCIAS
	COBRE	PLOMO	CADMIO	ZINC	
1. Puerto del Callao :					
- Frente a Acapulco	127.8	158.4	4.4	216.2	Este estudio;
- Frente al Río Rímac	109.4	157.7	6.2	177.6	Guillén et al 1978; Guillén 1985
- Frente a Rada Interior	129.3	201.7	6.4	359.7	
2. Bahía de Ite, Perú	1,320	14	1.3	---	López, 1982
3. Bahía de Nueva York (cerca al área de descarga)	141	144	---	264	Carnody et al; 1973
4. Bahía de Raritan	1,230	985	15	815	Greig y Grath, 1977
5. Long Island Sound	279	210	---	354	Greig, Reid y Wenzlop, 1977
6. Puerto de Corpus Christi, USA	---	---	130	11,000	Holmes, Slade y McLerran, 1974
7. Zona Costera del Sur de California	300	357	---	1,530	
8. Río Providence, USA	1,015	279	---	---	Cooper y Harris, 1974
9. Río Blyth, USA	720	400	12	730	Cooper y Harris, 1974

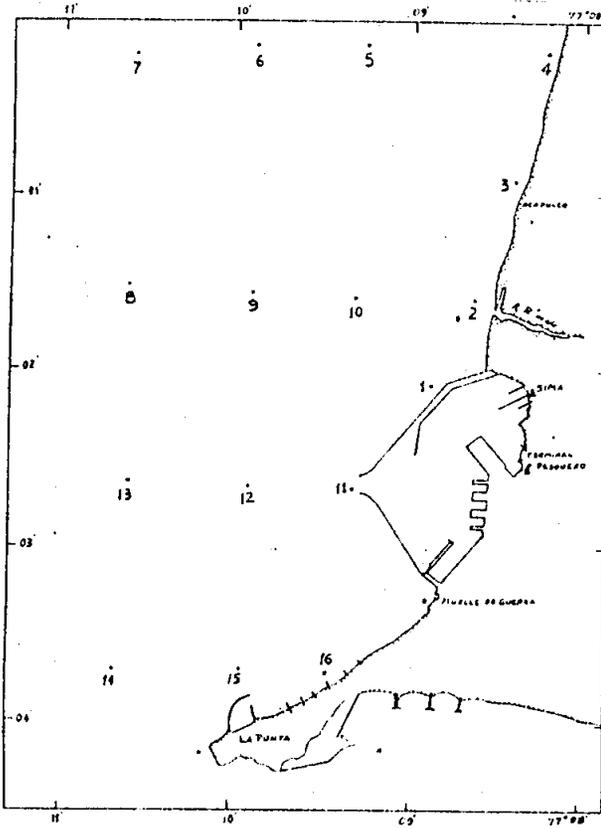


Fig. 1a

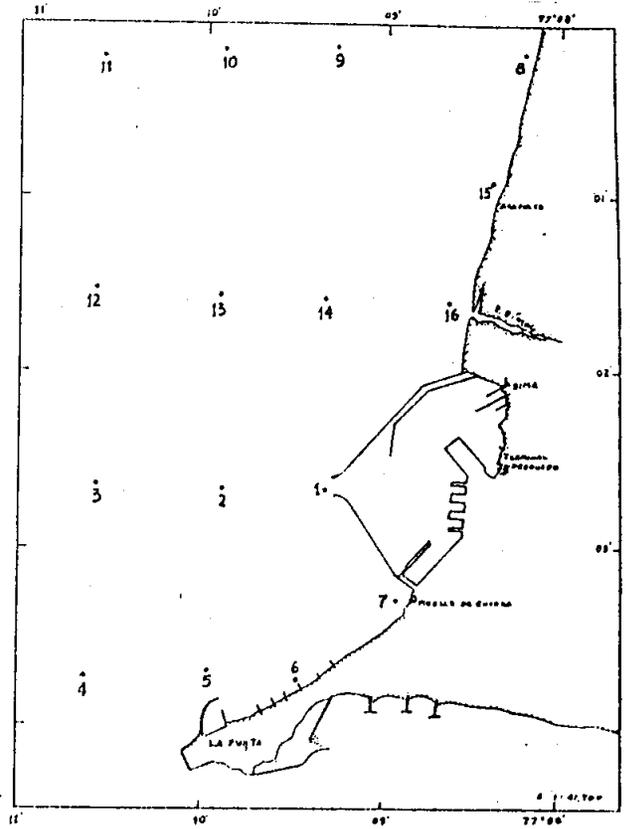


Fig. 1b

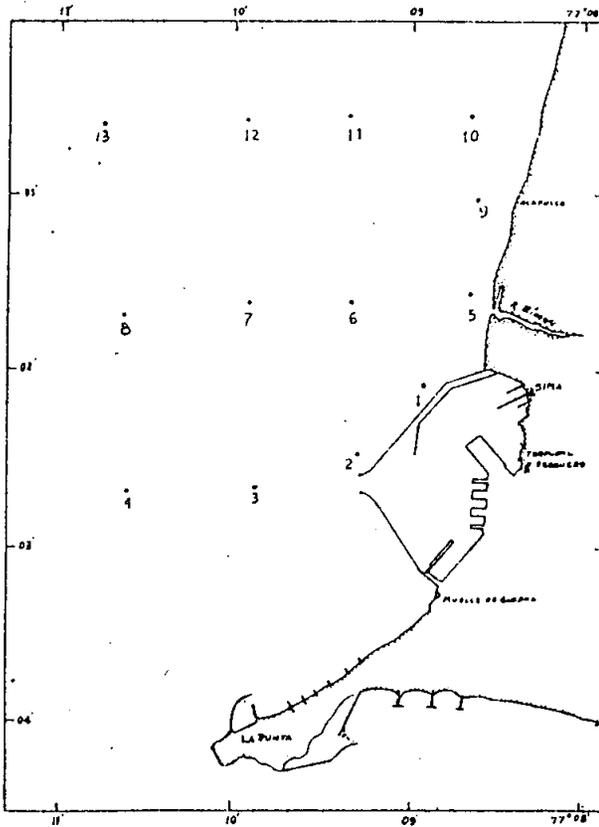


Fig. 1c

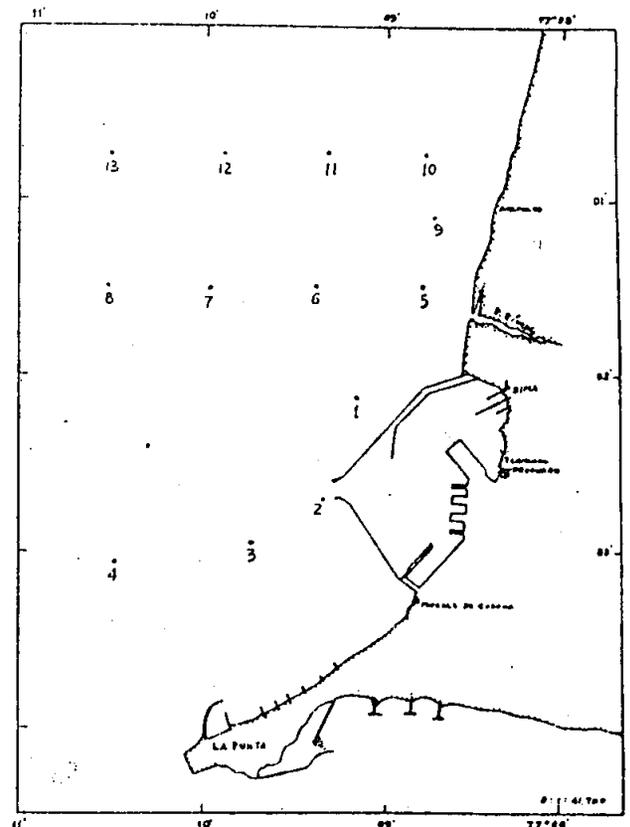


Fig. 1d

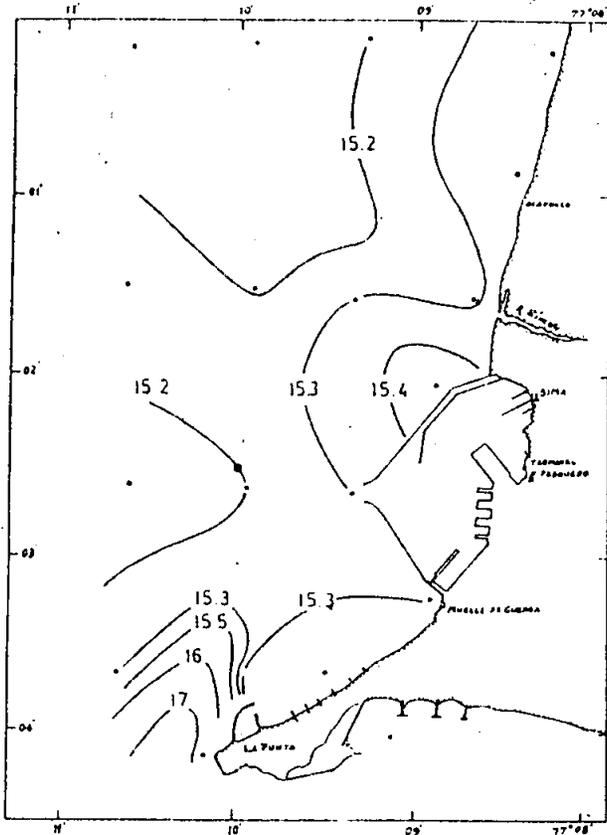


Fig. 2a

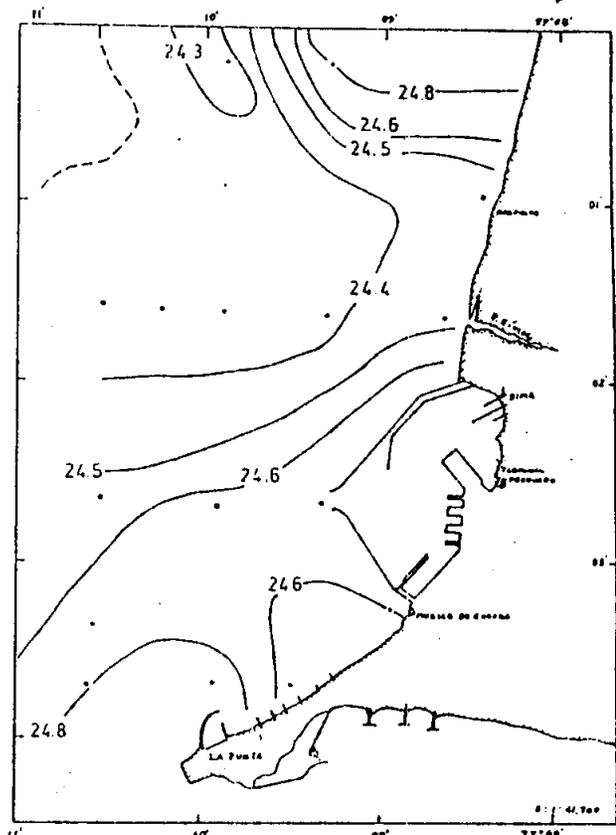


Fig. 2b

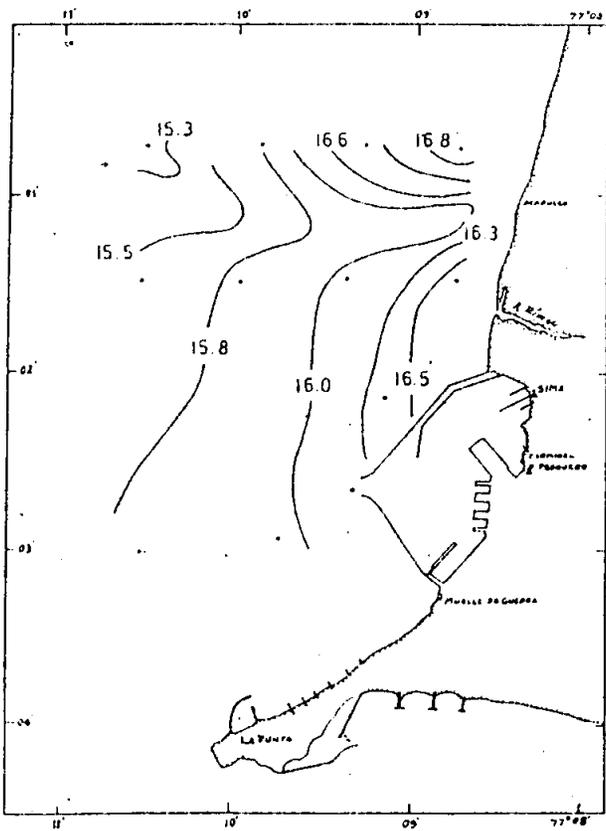


Fig. 2c

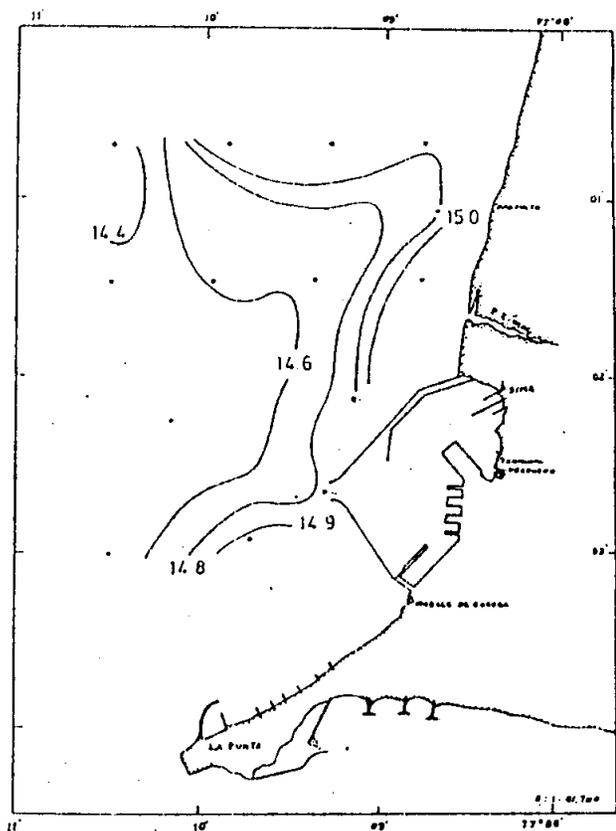


Fig. 2d

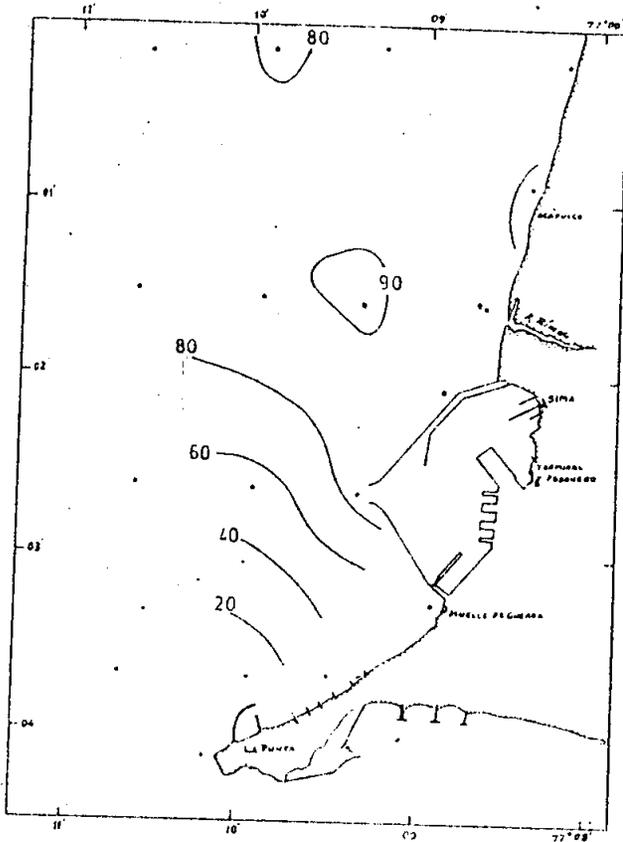


Fig. 3a

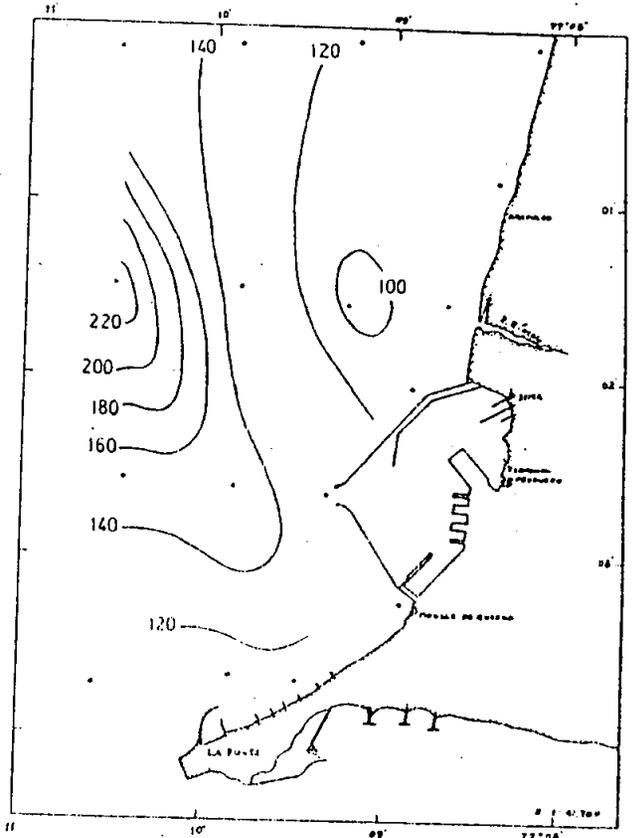


Fig. 3b

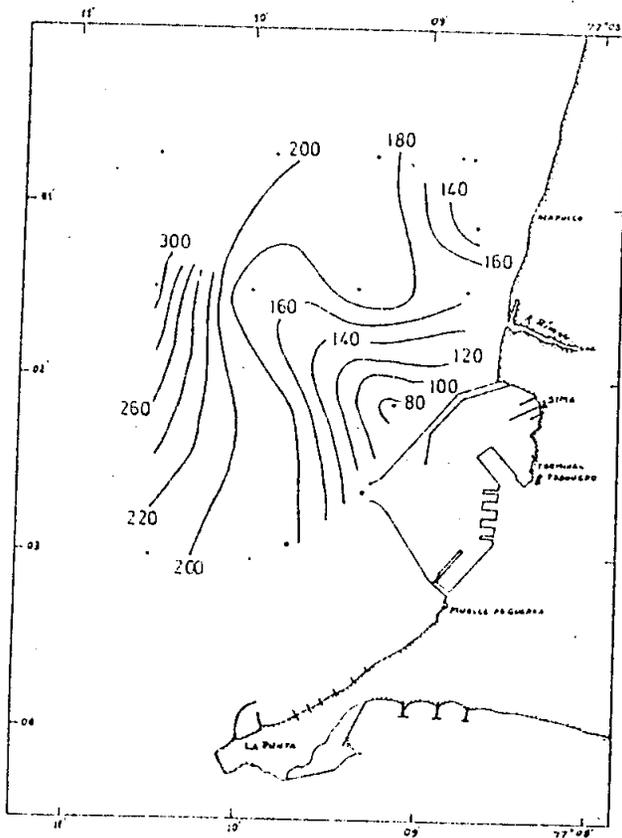


Fig. 3c

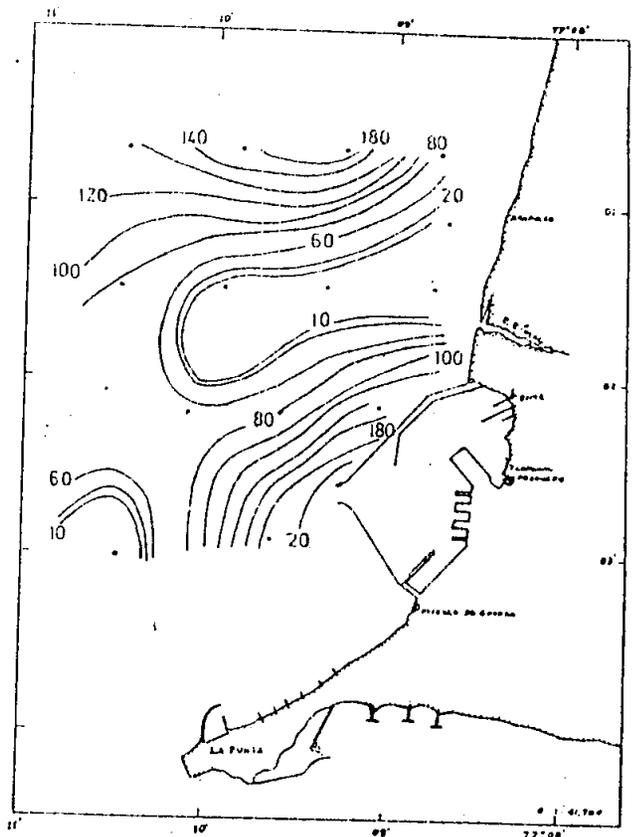


Fig. 3d

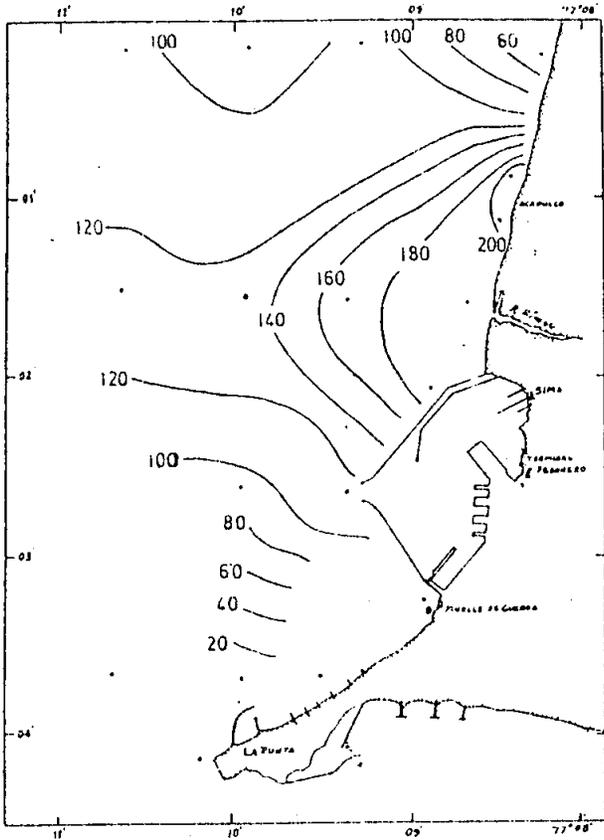


Fig. 4a

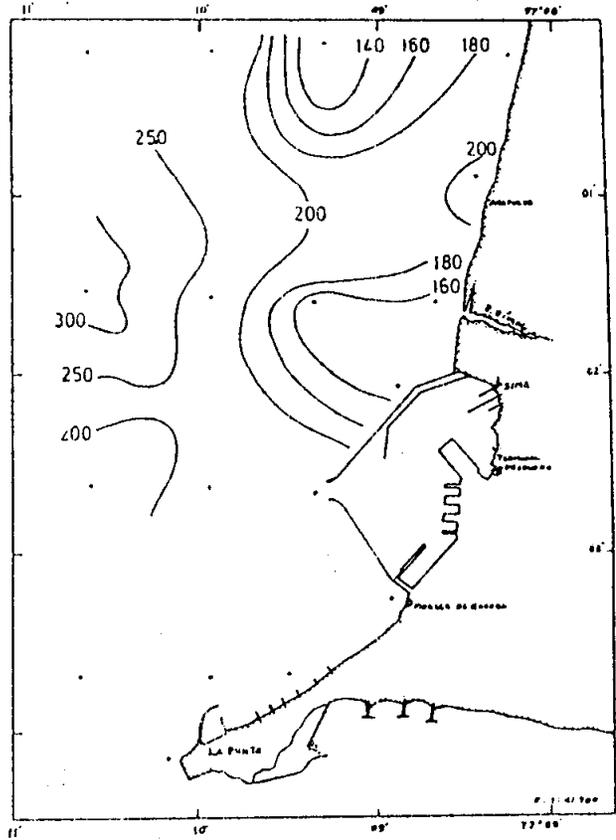


Fig. 4b

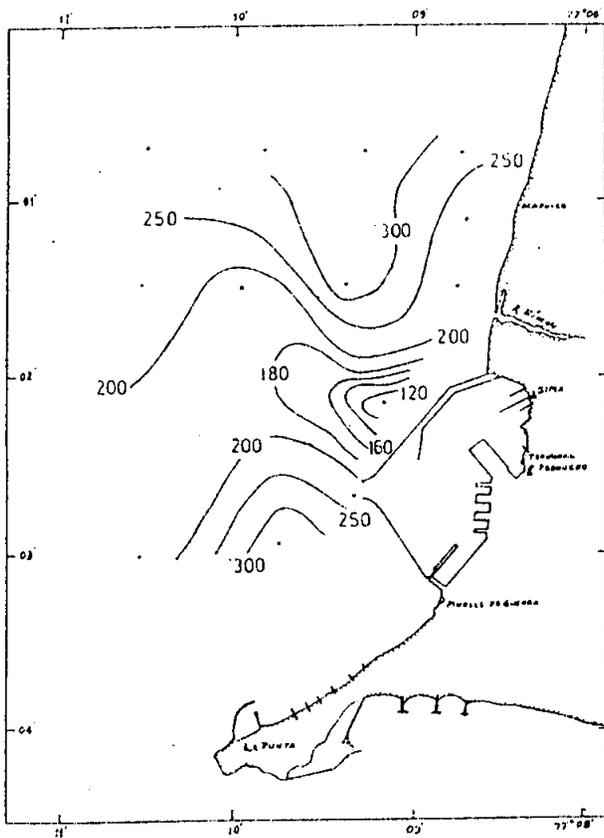


Fig. 4c

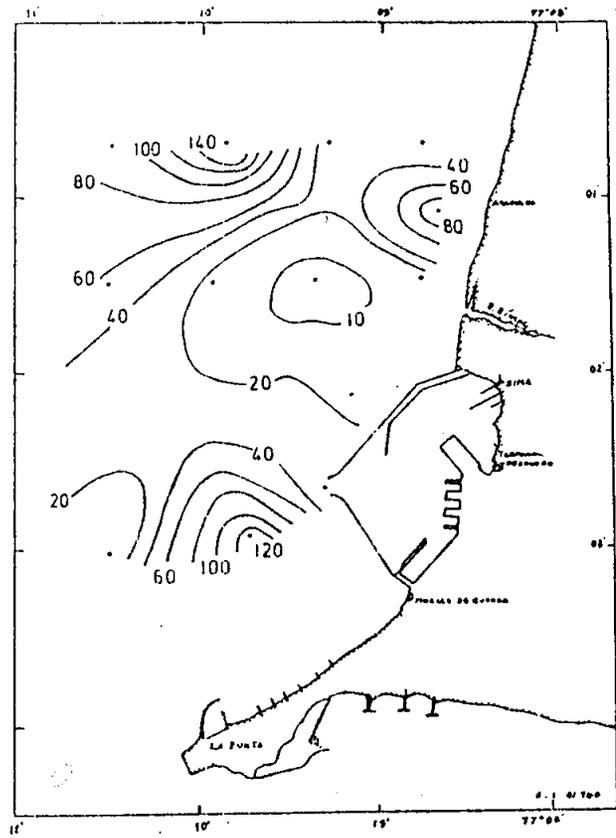


Fig. 4d

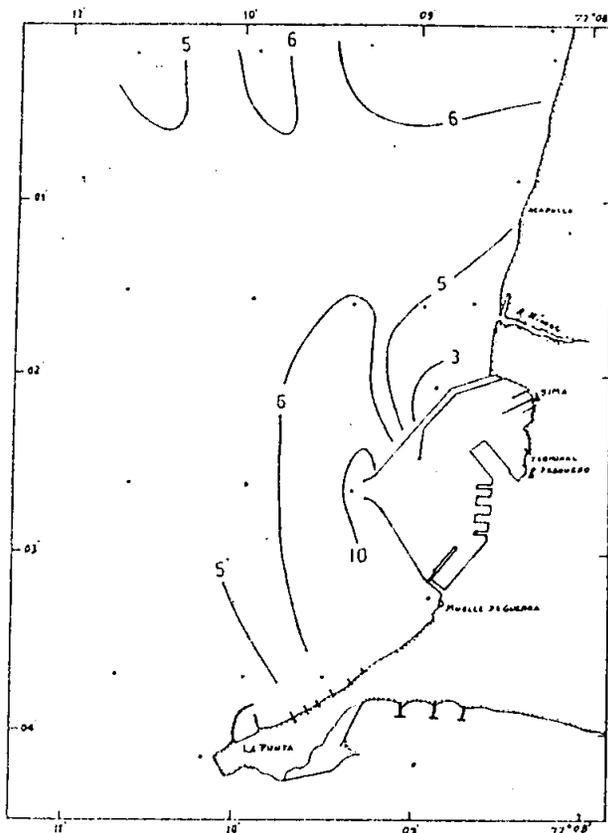


Fig. 5a

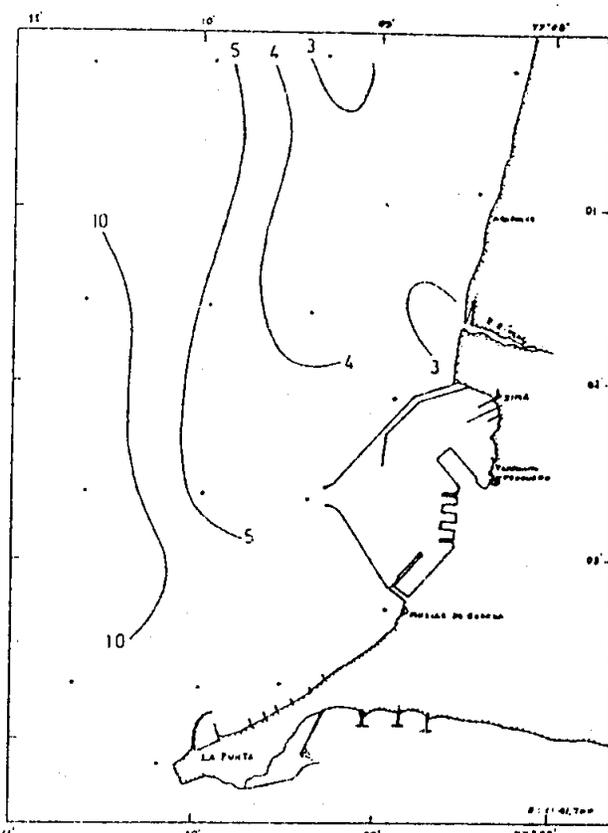


Fig. 5b

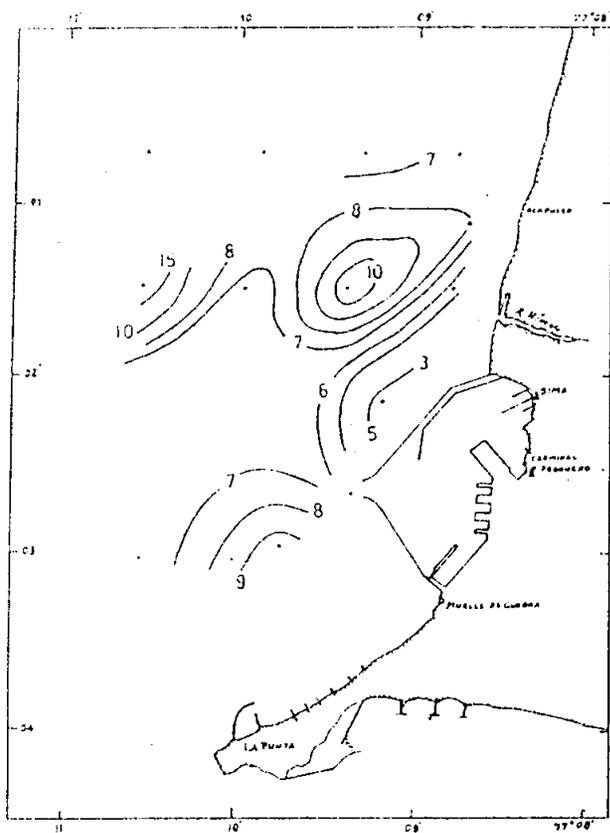


Fig. 5c

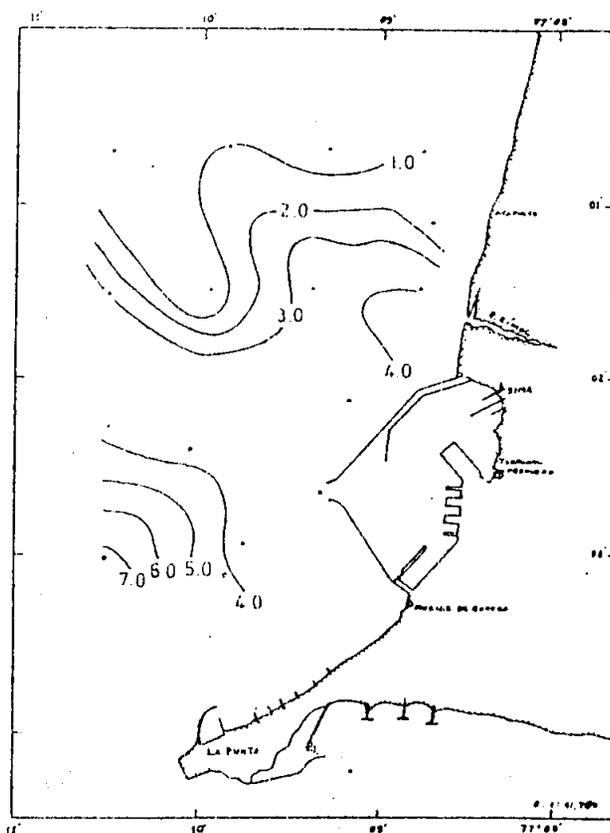


Fig. 5d

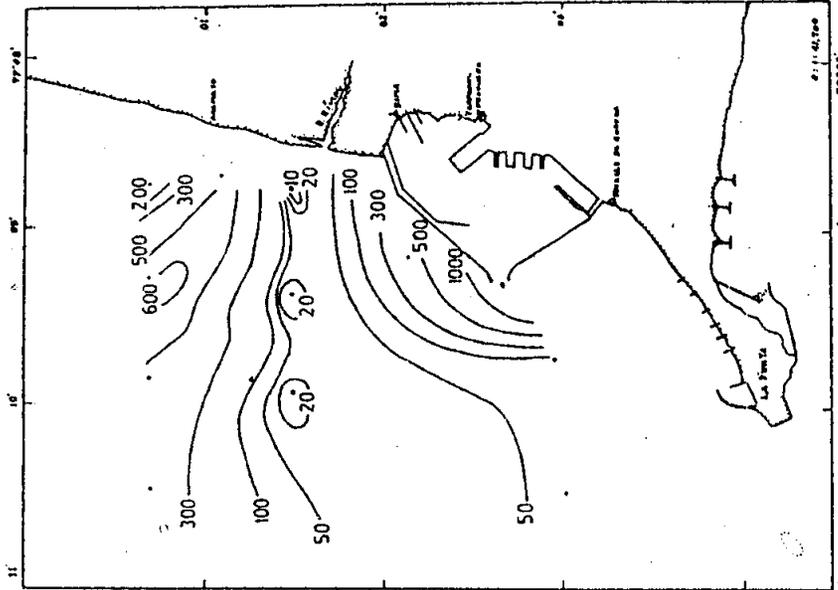


Fig. 6b

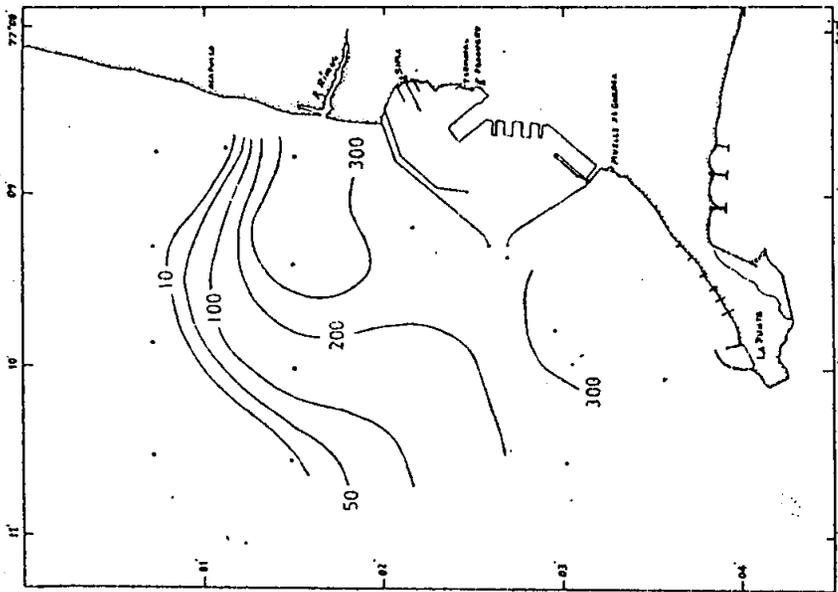


Fig. 6a

EXPERIMENTOS DE NUTRIENTES Y PRODUCTIVIDAD CON AGUA DE MAR Y DE LA DESEMBOCADURA DEL RIO RIMAC

Raquel Izaquirre de Rondán

1. INTRODUCCION

La distribución de los nutrientes (fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos) y de clorófila "a" en el agua de mar es conocida por los estudios realizados por investigadores del IMARPE y de otras instituciones extranjeras; pero referidos a aspectos de meso y macro-escala.

Las investigaciones sobre nutrientes en la costa de Perú datan de muchos años. Cooper (1938) y otros investigadores estudiaron los silicatos. Reidfield et al (1963) y Strickland (1960) estudiaron los nutrientes y sus procesos de regeneración que en el océano. Cooper (1935), Hoffman (1956), Lorenzen (1955) y otros investigadores han realizado estudios de regeneración de silicatos, fosfatos y nitrógeno. Zuta y Guillén (1970) y Guillén y R. Izaquirre (1973) presentaron la distribución y variabilidad de los nutrientes a lo largo de la costa peruana. Guillén O. y R. Izaquirre (1973) presentaron una distribución de clorófila "a" a las siguientes profundidades 0, 25, 50 y 100m a lo largo de la costa peruana. Recientemente se tiene un atlas sobre la variabilidad espaciotemporal de clorófila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana por Calienes et al, (1985), con observaciones de varios años.

Al estudiar los problemas de la contaminación marina en micro-escala se ha realizado últimamente análisis de nutrientes y clorófila "a" en el área del Callao. La relación de datos de los bioensayos realizados en el muestreo 8408 y 8411 de Callao son dados en Guillén et al, 1984. En dichos análisis se ha encontrado que la concentración de tales parámetros es diferente en aguas muy costeras que en aguas más alejadas de la costa, por lo que se ha realizado este trabajo con el propó-

sito de conocer estas variaciones y comparar con los resultados de la misma área de 1985.

2. MATERIAL Y METODOS

La colección de la muestra de agua de río, se tomó en la desembocadura del río Rímac y la de agua de mar fue a 3 millas de la costa frente al Callao.

En cada experimento se llevaron a cabo cuatro bioensayos correspondientes: 1) en agua de río, 2) en agua de mar 3) agua de mezcla (50% de agua de río y 50% de agua de mar) y 4) agua de mezcla (25% de agua de mar y 75% de agua de río). Las muestras que se colectaron estuvieron expuestas a diferentes porcentajes de luz (100%, 50%, 25%, 10% y 1% de luz superficial). Cada 24 horas se submuestrearon y se analizaron los nutrientes y clorófila "a" por un período de cinco días consecutivos en el IMARPE.

Los análisis de nutrientes (fosfatos, silicatos, nitratos) se realizaron de acuerdo a Guillén y R. de Rondán (1973), usando un espectrofotómetro Beckman DU-2 y el Spectronic 21 Bausch & Lomb. La fecha de los muestreos se da en las Tablas 1-4.

3. RESULTADOS

La variación y rangos de nutrientes y clorófila en los diferentes tipos de agua se presentan en las Tablas 1 al 3.

3.1 Primer Bioensayo (24-30 de Setiembre de 1984)

Fosfatos y Silicatos.- La mayor concentración se encontró en los experimentos con el agua de río, como se muestra en las Figs. 1 y 2.

Nitratos .- La mayor concentración se encontró en el agua de mar. El contenido decreció fuertemente a partir de la

concentración inicial tal como se puede apreciar en la Fig. 3.

Clorófila "a" .- La variación es menos notoria que en los nutrientes, sin embargo, lo que se puede apreciar es que la concentración fue mayor en los primeros días (Fig. 4), tanto en el agua de mar y de río.

3.2 Segundo Bioensayo (5-10 de Noviembre de 1984)

Fosfatos y Silicatos .- Al igual que en el primer bioensayo, las mayores concentraciones se encontraron en el agua de río, como se muestra en las Figs. 5 y 6. La concentración inicial de fosfatos en el agua de río fue mucho mayor que en el 2° Bioensayo ($> 20 \mu\text{g-at/l}$) y se mostró en los diferentes porcentajes de luz; el último día decreció esta concentración. Los silicatos se mantuvieron casi igual a la inicial, con ligeras variaciones.

Nitrato .- Al igual que en el primer bioensayo, la concentración decreció a medida que pasaban los días, en los diferentes porcentajes de luz (Fig. 7).

Clorófila "a" .- A diferencia del 1er. bioensayo la concentración de clorófila aumentó fuertemente en los últimos días ($> 10 \text{ mg/m}^3$), con excepción de la muestra de agua de mar, como se puede apreciar en la Fig. 3. La mayor concentración fue en el agua de río, al igual que en los nitratos.

3.3 Tercer Bioensayo (29 Marzo-3 de Abril 1985)

En este bioensayo sólo se tomaron muestras para análisis de clorófila "a" (Tabla 4). Las concentraciones iniciales en el agua de mar fueron menores que en el agua de río. En los demás días el comportamiento fue como el que sigue:

En el agua de mar las concentraciones fueron mayores en casi todos los días. En el agua de río las concentraciones de clorófila fueron menores que en la inicial a excepción del último día. En las aguas de mezcla C y D en general fueron mayores que la inicial, en la C mayor a partir del 2º día y en el D mayor a partir del 3er. día.

3.4 Cuarto Bioensayo (2-5 de Setiembre de 1985)

Los resultados se muestran en las Tablas del 5 al 8.

Fosfatos .- Como en los anteriores bioensayos, la mayor concentración se presentó en el agua de río; comparando los resultados con el 1er y 2º Bioensayos, los resultados muestran que en el 1er. bioensayo tuvo mayores concentraciones.

Silicatos .- En este parámetro también se encontró mayor concentración en el agua de río, ligeramente mayor que en el 2º bioensayo, pero menor que en el 1er. bioensayo.

Nitratos .- La concentración fue mayor en el agua de mar, al igual que en el 1er y 2do. bioensayo,

Clorófila "a" .- Similar a lo ocurrido con los nitratos, la mayor concentración fue en el agua de mar, lo que también se puede notar en los primeros bioensayos. En los experimentos de este muestreo se ha encontrado menor concentración de clorófila "a" con respecto a los anteriores bioensayos.

4. CONCLUSIONES

- En los cuatro experimentos de los bioensayos realizados con el agua de río se encontraron mayores concentraciones de fosfatos y silicatos que en el agua

de mar.

- Las concentraciones de nitratos y clorófila "a" fueron mayores en el agua de mar en los cuatro experimentos.
- La muestra expuesta a los diferentes porcentajes de luz no influye mayormente en los resultados como el origen del agua, ya sea de río ó de mar.

5. REFERENCIAS

- CALIENES, R., O. GUILLEN Y M. LOSTAUNAU. 1985. Variabilidad espacio-temporal de clorófila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Bol. Inst. Mar. Perú/OEA, 10 (1)
- COOPER L.M.N. 1935. The rate of liberation of phosphate in sea water by the breakdown of plankton organisms. I. Mar. biol. Ass. U.K. 20: 197-200
- COOPER L.H.N. 1939. Redefinition of the anomaly of the nitrate phosphate ratio I. Mar. biol. Ass U.K. 23:179
- GUILLEN, O. Y R. DE RONDAN, 1973. Distribution of chlorophyll "a" in the Peru Coastal Current. In: Oceanography of the South Pacific. 1972. R. Fraser (ed.) New Zealand National Commission for UNESCO, Wellington.
- GUILLEN, O. Y R. DE RONDAN, 1973. Nutrients in the Peru Coastal Current. Oceanography of the South Pacific. 1972. R. Fraser. (Ed) New Zealand National Commission for UNESCO, Wellington.
- GUILLEN, O. Y R. DE RONDAN, 1973. Análisis químicos y de productividad en el agua de mar. I Parte. Inst. Mar Perú.
- GUILLEN, O. Y R. AQUINO, 1973. Análisis químicos del agua de mar por Instrumentación II Parte. Inst. Mar-Perú.

- QUILLEN, O., 1973. Contaminación en el Puerto del Callao. Informe N°62 Inst. Mar Perú .
- QUILLEN, O. 1984. Informe Preliminar del Muestreo 8403. Proyecto Multinacional de Ciencias del Mar OEA-IMARPE
- KOFFMAN, K. 1956. Untersuchungen über die remineralization des phosphors in Plankton. Kiel Meeresforsch, 12: 25-36.
- LORENZEN, C. J. 1967. Determination of Chlorophyll and Phaeopigments Spectrophotometric Equations. Limnol. Oceanogr. 12 (2).
- RODFIELD, A.C. KETCHUM, B.H; RICHARDS F.A. 1963. The influence of organisms on the composition of sea water. The Seas: 2M.N. Hill, ed. Wiley, New York. pp. 26-77
- STRICKLAND, J.D. PARSON T.P. 1972. A practical Handbook of Sea Water Analysis, Bull 167 (Second edition) Res. Canada.
- ZETA, S. Y O. QUILLEN, 1973. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Bol. Inst. Mar Perú 2 (5) 157-324.

TABLA N° 1

1er. Bioensayo
(24-30 Setiembre, 1934)

FOSFATOS		RANGO	
Conc.Inicial		(ug-at/L)	
11.85	A (agua de rfo)	9.23	- 16.29
2.79	B (agua de mar)	2.64	- 12.15
16.29	C	8.34	- 19.50
13.06	D	10.62	- 19.75
SILICATOS			
117.81	A	54.12	-129.31
33.52	B	20.88	- 41.19
84.29	C	53.16	-113.03
68.46	D	47.89	-126.44
NITRATOS			
3.07	A	0.10	- 0.79
6.09	B	1.44	- 7.56
2.52	C	0.21	- 6.14
16.08	D	0.01	- 0.82
CLOROFILA "a"			
1.06	A	0.80	- 3.20
0.53	B	0.53	- 1.60
2.00	C	0.53	- 1.60
3.20	D	0.53	- 2.14

TABLA N° 2
2do. Bioensayo
(5-10 Noviembre, 1984)

SILICATOS		RANGO	
Conc. Inicial		(ug-at/L)	
13.15	A (muestra de mar)	4.58	- 24.14
87.15	B (muestra de rfo)	77.43	- 114.50
69.80	C	65.84	- 85.85
65.20	D	53.43	- 84.92
FOSFATOS			
1.72	A	1.10	- 2.85
29.12	B	18.27	- 35.05
20.12	C	12.54	- 25.18
23.15	D	12.95	- 28.64
NITRATOS			
3.21	A	0.04	- 6.15
5.18	B	0.10	- 7.05
2.25	C	1.00	- 4.30
7.14	D	0.14	- 8.10
CLOROFILA "a"			
1.20	A	0.32	- 2.56
1.00	B	0.53	- 19.76
1.20	C	0.10	- 5.61
0.80	D	0.10	- 11.21

TABLA N° 3

No. Bioensayo
Setiembre, 1935]

FOSFATOS		RANGO	
Conc. Inicial		(ug-at/L)	
3.13	A (agua de mar)	1.70	- 3.24
17.70	B (agua de mar)	5.13	- 15.60
9.61	C	5.33	- 9.37
11.32	D	6.17	- 12.06
SILICATOS			
20.25	A	24.23	- 45.14
94.63	B	81.03	- 99.12
69.81	C	43.06	- 72.52
78.33	D	49.00	- 31.93
NITRATOS			
4.83	A	1.69	- 5.11
2.09	B	0.50	- 1.33
3.44	C	0.50	- 3.10
6.13	D	0.56	- 2.40
CLOROFILA "a"			
1.60	A	0.00	- 3.20
1.60	B	0.00	- 1.60
3.80	C	0.00	- 1.60
1.60	D	0.00	- 1.60

TABLA N°4 : Muestras de mar (A), de Río (B) y de Mezclas C y D , del Tercer Bioensayo de Productividad (29 Marzo-3 Abril, 1985)

OBSERVACION		CLOROFILA "a" (mg/m ³)					CLOROFILA "a" (mg/m ³)						
INICIO	FINAL	Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%
		MUESTRA A					MUESTRA B						
		0.96						5.21					
29-3-85	30-3-85	0.96	0.96	1.28	5.13	2.56		0.80	0.80	1.60	2.80	1.2	
30-3-85	1-4-85	3.52	8.01	2.24	1.92	2.56		3.20	2.40	0.80	0.0	0.0	
1-4-85	2-4-85	0.96	3.85	1.92	1.60	0.0		1.60	0.40	0.0	0.0	0.0	
2-4-85	3-4-85	0.64	9.61	10.25	1.92	0.0		21.63	3.20	1.60	0.80	0.8	
		MUESTRA C (1A+1B)					MUESTRA D(1A+3B)						
29-3-85	30-3-85	1.07	1.60	1.07	-	1.60		3.20	1.07	1.07	1.60	2.6	
30-3-85	1-4-85	8.17	2.40	2.78	-	0.0		3.20	10.15	2.14	0.0	0.0	
1-4-85	2-4-85	46.99	11.75	6.41	-	0.0		32.04	63.01	0.53	0.0	0.0	
2-4-85	3-4-85	85.44	29.90	-	-	0.0		60.88	118.55	29.90	0.0	1.0	

Co. = Conc. Inicial

TABLA N°5. Muestras de mar (A) de silicatos, fosfatos, nitratos y nitritos de clorófila del Cuarto
Bioensayo de Productividad (2-6 Setiembre 1985)

OBSERVACION				RADIACION TOTAL (cal) cm ² /d	SILICATOS (ug-at/L)					FOSFATOS (ug-at/L)							
INICIO		FINAL			Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%	
HORA	FECHA	HORA	FECHA														
14.00	2-09-85				30.95						3.13						
14.00	2-09-85	14.00	3-09-85	416.7		25.76	30.72	36.53	31.80	29.28		1.70	2.14	2.77	1.91	3.18	
14.00	3-09-85	14.00	4-09-85	441.4		38.56	38.51	45.14	34.23	35.04		2.66	1.93	2.86	3.00	2.76	
14.00	4-09-85	14.00	5-09-85	451.6		27.34	35.63	36.13	31.13	32.16		1.38	2.51	3.04	2.11	3.24	
14.00	5-09-85	14.00	6-09-85	447.2		24.23	30.00	33.83	30.41	30.81		1.92	1.70	2.37	2.47	2.83	
N I T R A T O S (ug-at/L)					N I T R I T O S (ug-at/L)					C L O R O F I L A "a" (mg/m. ³)							
Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%
4.83						0.57						1.60					
	2.49	3.21	4.70	4.95	3.84		0.41	0.49	0.63	0.75	0.68		1.60	0.0	0.0	0.0	0.0
	2.15	2.60	2.90	3.49	3.55		0.60	0.71	0.72	0.83	0.74		1.60	0.80	2.40	0.0	2.40
	1.69	2.49	4.57	5.09	5.01		0.09	0.34	0.54	0.44	0.71		0.80	1.60	0.80	3.20	0.80
	2.12	2.26	3.57	5.11	4.22		0.11	0.21	0.54	0.53	0.55		0.80	0.80	1.60	0.0	0.80

TABLA N°6. Muestra de río (B) de fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos y clorófila, del Cuarto Bioensayo de Productividad (2-6 Setiembre 1985)

OBSERVACION				RADIACION TOTAL (cal/ cm ² /d)	SILICATOS (ug-at/L)					FOSFATOS (ug-at/L)						
INICIO HORA	FECHA	FINAL HORA	FECHA		Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%
1.00	2-09-85			84.68						17.70						
1.00	2-09-85	14.00	3-09-85	416.7	88.74	86.93	88.28	87.83	87.83	13.39	12.45	13.16	13.32	13.72		
1.00	3-09-85	14.00	4-09-85	441.4	88.28	88.28	87.84	86.49	87.39	13.16	15.20	15.10	15.40	15.60		
1.00	4-09-85	14.00	5-09-85	451.6	87.84	85.14	87.39	84.68	89.19	6.73	6.18	6.87	7.48	12.81		
1.00	5-09-85	14.00	6-09-85	447.2	86.49	81.08	87.39	85.14	84.23	11.23	10.75	12.85	12.56	11.18		

N I T R A T O S (ug-at/L)					N I T R I T O S (ug-at/L)					C L O R O F I L A " a " (mg/m ³)							
Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%
2.09						2.26						1.60					
	0.81	0.53	0.50	0.60	0.76		1.02	0.87	1.18	1.08	1.05		0.80	0.80	1.60	0.80	0.0
	1.61	0.60	0.59	0.60	0.62		0.85	0.94	0.93	1.06	0.81		0.0	0.80	0.0	0.0	0.0
	1.00	0.72	0.57	0.54	0.52		0.18	0.16	0.17	0.21	0.23		0.0	0.80	0.80	1.60	0.80
	1.88	1.37	1.14	1.06	1.28		0.13	0.71	0.12	0.16	0.10		0.80	0.80	1.60	0.80	1.60

TABLA N°7. Muestras (C) de Mezcla (1A+1B) de fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos y clorófila, del Cuarto Bioensayo de Productividad (2-6 Setiembre, 1985)

OBSERVACION				RADIACION TOTAL	SILICATOS (ug-at/L)					FOSFATOS (ug-at/L)						
INICIO	FINAL			(cal/	Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%
HORA	FECHA	HORA	FECHA	cm ² /d)												
14.00	2-09-85			69.81							9.61					
14.00	2-09-85	14.00	3-09-85	416.7	57.97	52.34	43.06	-	65.63		7.54	5.33	-7.06	-	7.98	
14.00	3-09-85	14.00	4-09-85	441.4	61.26	68.92	72.17	-	72.52		8.05	9.06	9.37	-	9.34	
14.00	4-09-85	14.00	5-09-85	451.6	68.02	70.72	66.08	-	67.12		6.02	5.91	6.31	-	7.45	
14.00	5-09-85	14.00	6-09-85	447.2	68.02	61.08	58.78	-	66.08		8.56	6.39	7.74	-	8.26	

N I T R A T O S (ug-at/L)					N I T R I T O S (ug-at/L)					C L O R O F I L A "a" (mg/m ³)								
Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%	
3.44						0.76						0.80						
	1.21	0.90	1.26	-	0.50		1.03	0.71	0.56	-	0.67		0.0	1.60	0.0	-	0.0	
	3.10	2.44	2.15	-	1.80		0.72	0.92	0.68	-	0.62		1.60	1.60	0.0	-	0.0	
	2.06	1.06	1.01	-	0.82		0.25	0.22	0.11	-	0.17		0.80	0.0	0.80	-	0.0	
	2.14	1.07	0.95	-	1.41		0.28	0.24	0.25	-	0.12		1.60	0.80	1.60	-	0.0	

TABLA N°8. Muestra (D) de mezcla (1A + 3B) de fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos y clorófila del Cuarto Bioensayo de Productividad (2-6 Setiembre 1985)

OBSERVACION				RADIACION TOTAL (cal/cm ² /día)	SILICATOS (ug-at/L)					FOSFATOS (ug-at/L)					
INICIO HORA	FECHA	FINAL HORA	FECHA		Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%
14.00	2-09-85			78.38						11.82					
14.00	2-09-85	14.00	3-09-85	416.7	68.47	69.34	49.00	57.16	62.25	8.90	10.08	9.09	9.55	7	
14.00	3-09-85	14.00	4-09-85	441.4	81.98	79.73	80.18	79.28	77.93	12.02	12.06	11.72	10.83	10	
14.00	4-09-85	14.00	5-09-85	451.6	73.42	75.68	72.52	79.73	65.32	6.17	8.33	6.95	6.74	6	
14.00	5-09-85	14.00	6-09-85	447.2	79.28	69.82	69.82	76.58	62.25	10.24	9.60	9.97	9.79	9	

N I T R A T O S (ug-at/L)					N I T R I T O S (ug-at/L)					C L O R O F I L A "a" (mg/m ³)							
Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%	Co.	100%	50%	25%	10%	1%
6.13						1.21						1.60					
	0.63	0.70	0.65	0.76	0.56		0.75	0.74	0.70	0.64	0.86		0.80	0.0	0.80	0.0	1.60
	1.71	1.71	1.39	1.46	1.30		0.77	0.77	0.78	0.65	0.60		0.0	0.0	1.60	0.80	0.0
	0.82	0.59	0.97	1.03	0.85		0.14	0.28	0.19	0.09	0.16		0.80	0.80	1.60	0.80	0.80
	1.64	2.40	0.87	1.41	1.27		0.09	0.26	0.17	0.23	0.37		0.0	0.80	1.60	0.80	0.80

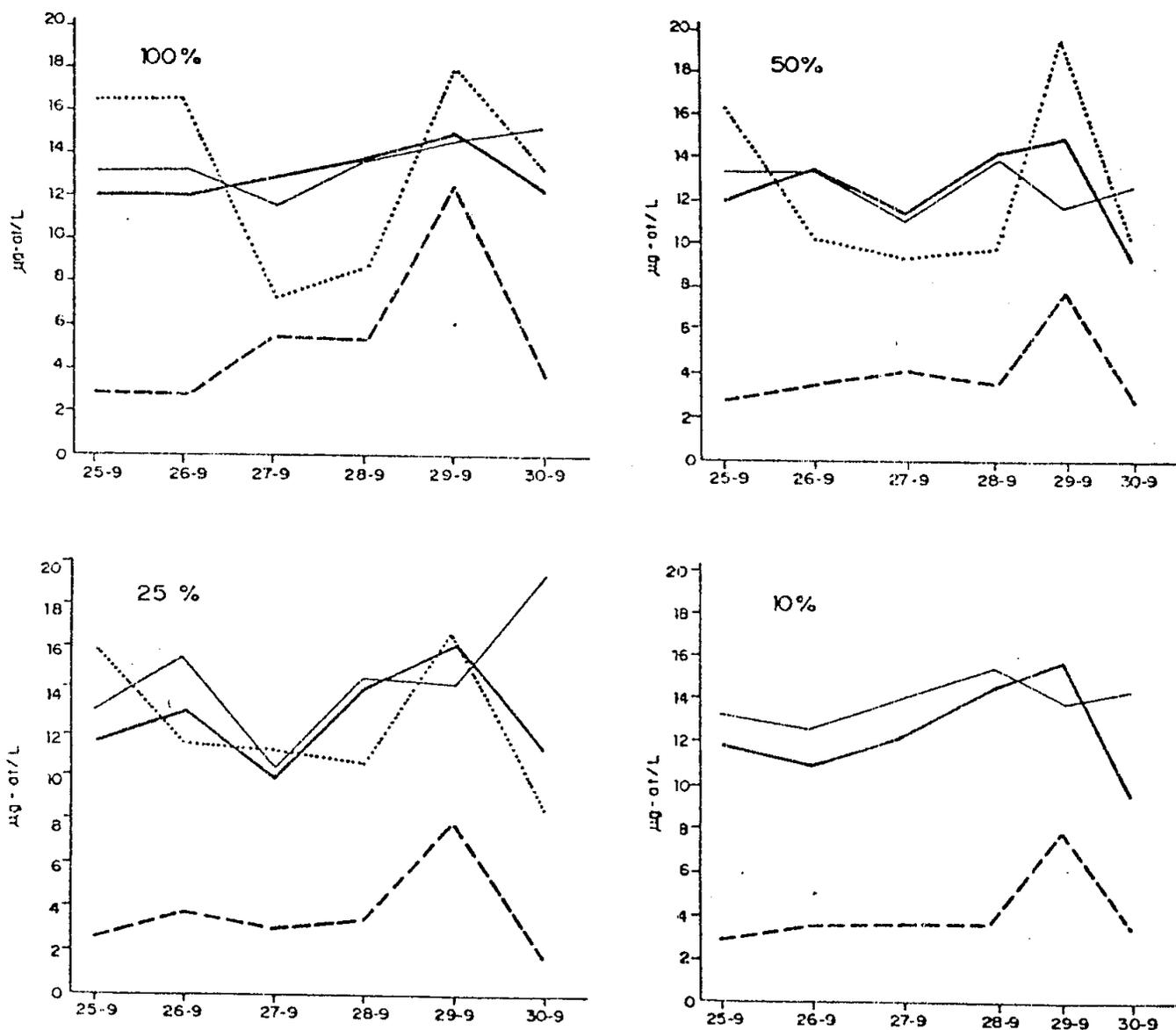


Fig 1.- 1^{er} Bioensayo PO₄ µg-at/ L

A = AGUA DE RIO ———
 B = AGUA DE MAR - - -
 C =
 D = ———

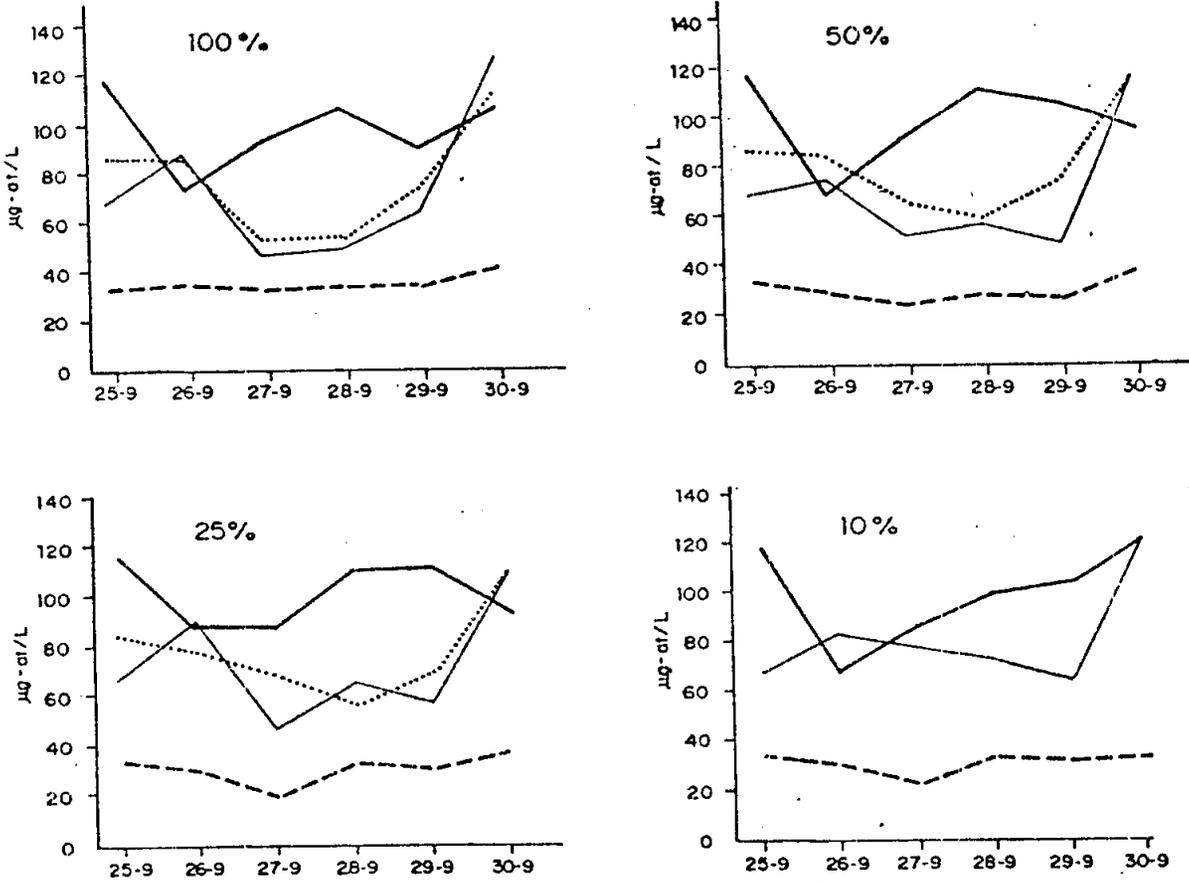


Fig. 2- 1er Bioensayo SiO₄ µg-at/L

- A = AGUA DE RIO ———
- B = AGUA DE MAR - - - - -
- C = (Dotted)
- D = — · — · — (Dash-dot)

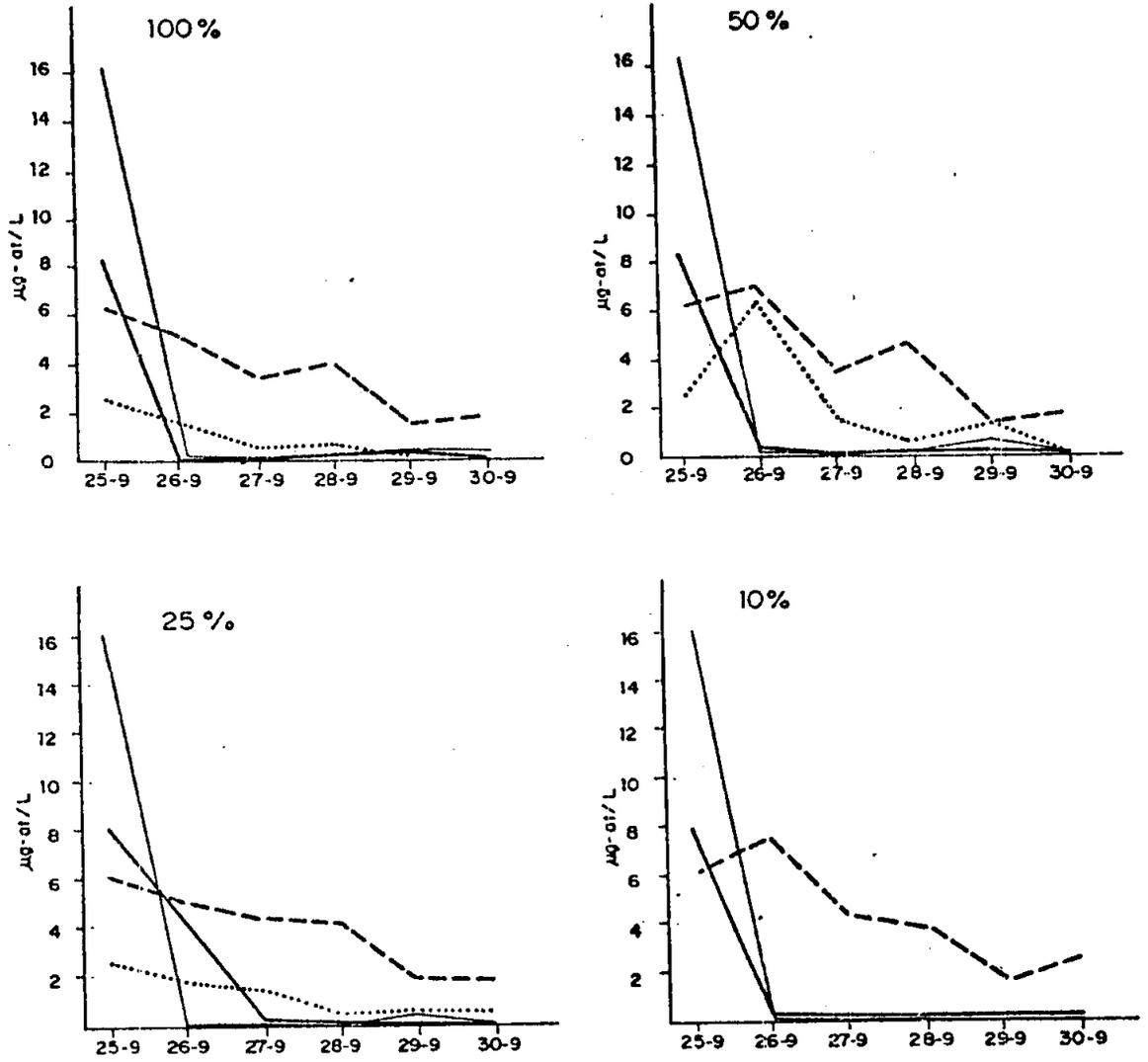


Fig. 3 - 1^{er} Bioensayo $\text{NO}_3^- \mu\text{g-at/L}$

- A = AGUA DE RIO ———
- B = AGUA DE MAR - - - - -
- C = (dotted)
- D = — · — (dash-dot)

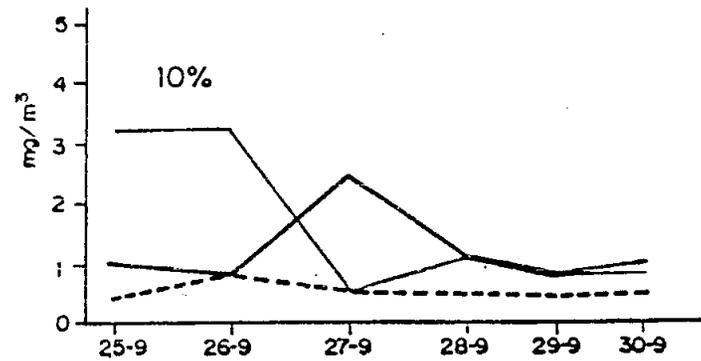
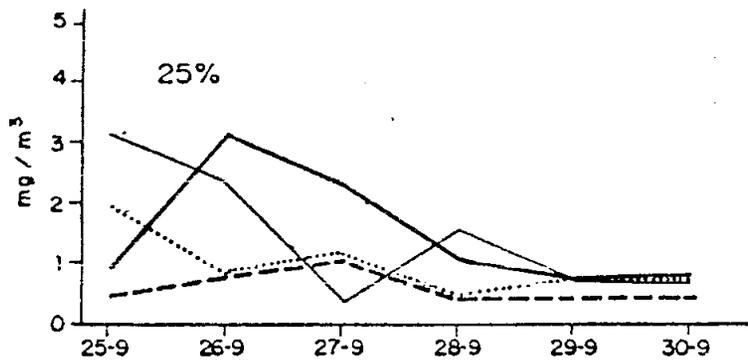
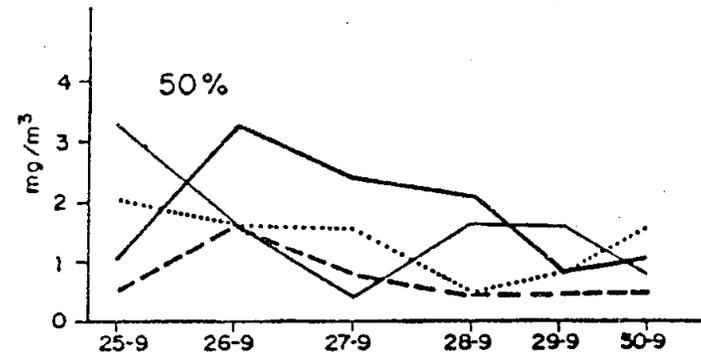
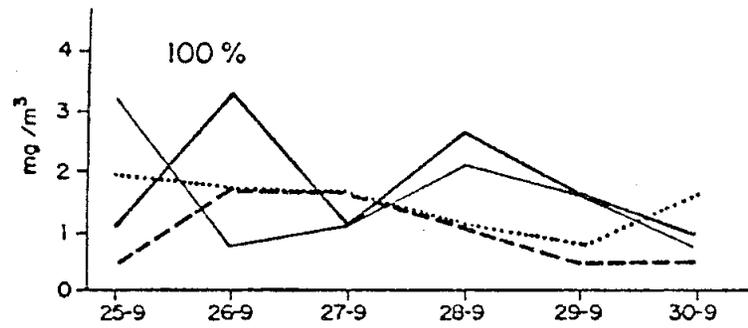


Fig 4.- 1^{er} Bioensayo Clorofila "a" (mg/m³)

A = AGUA DE RIO ———
 B = AGUA DE MAR - - - -
 C =
 D = ———

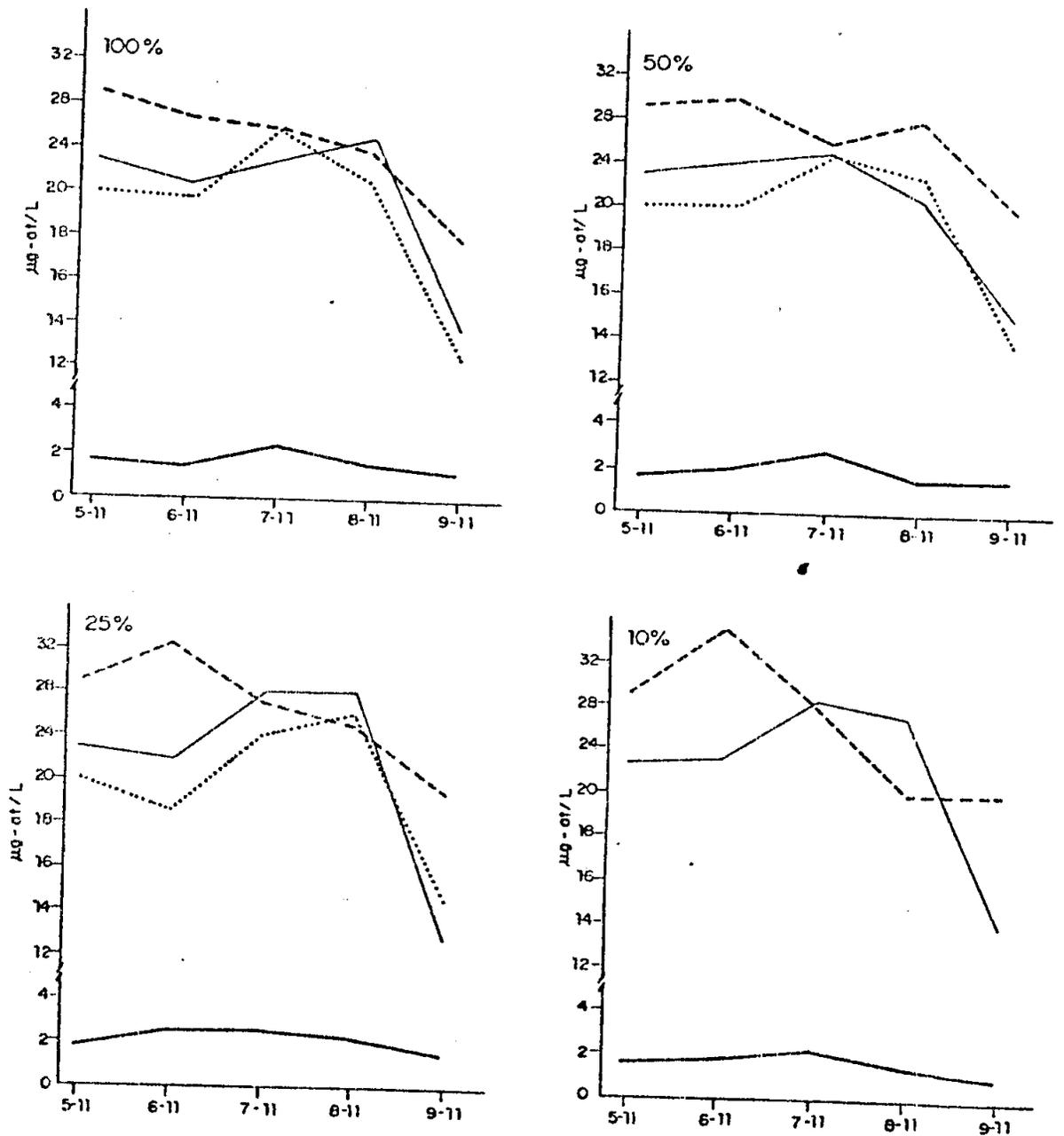


Fig. 5.- 2° Bioensayo $\text{PO}_4^- \mu\text{g-oi/L}$

- A = AGUA DE MAR ———
- B = AGUA DE RIO - - - - -
- C = (Dotted)
- D = ——— (Long-dashed)

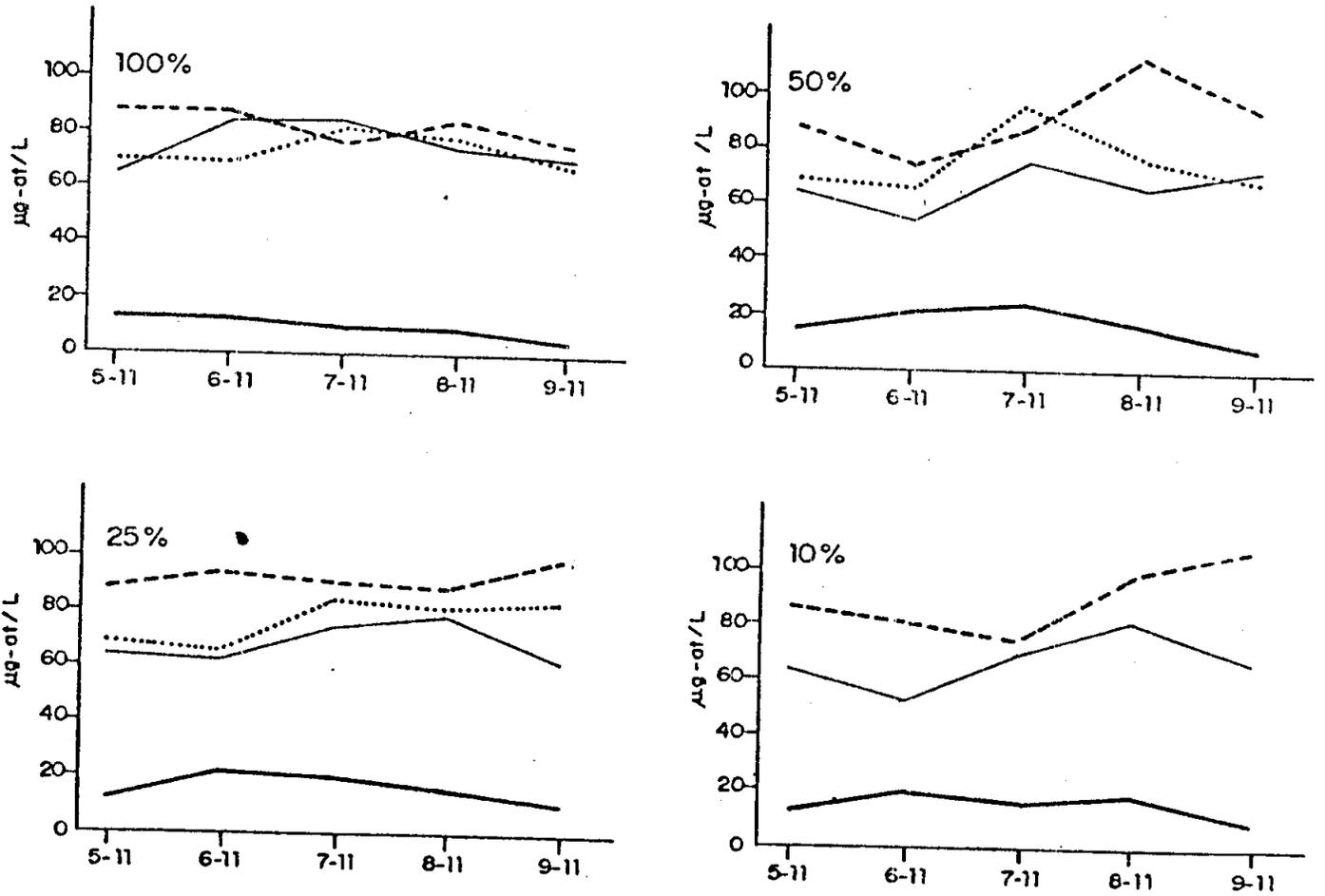


Fig. 6.- 2° Bioensayo SiO_4 $\mu\text{g-ot/L}$

A = AGUA DE MAR ———
 B = AGUA DE RIO - - - - -
 C =
 D = - . - . - .

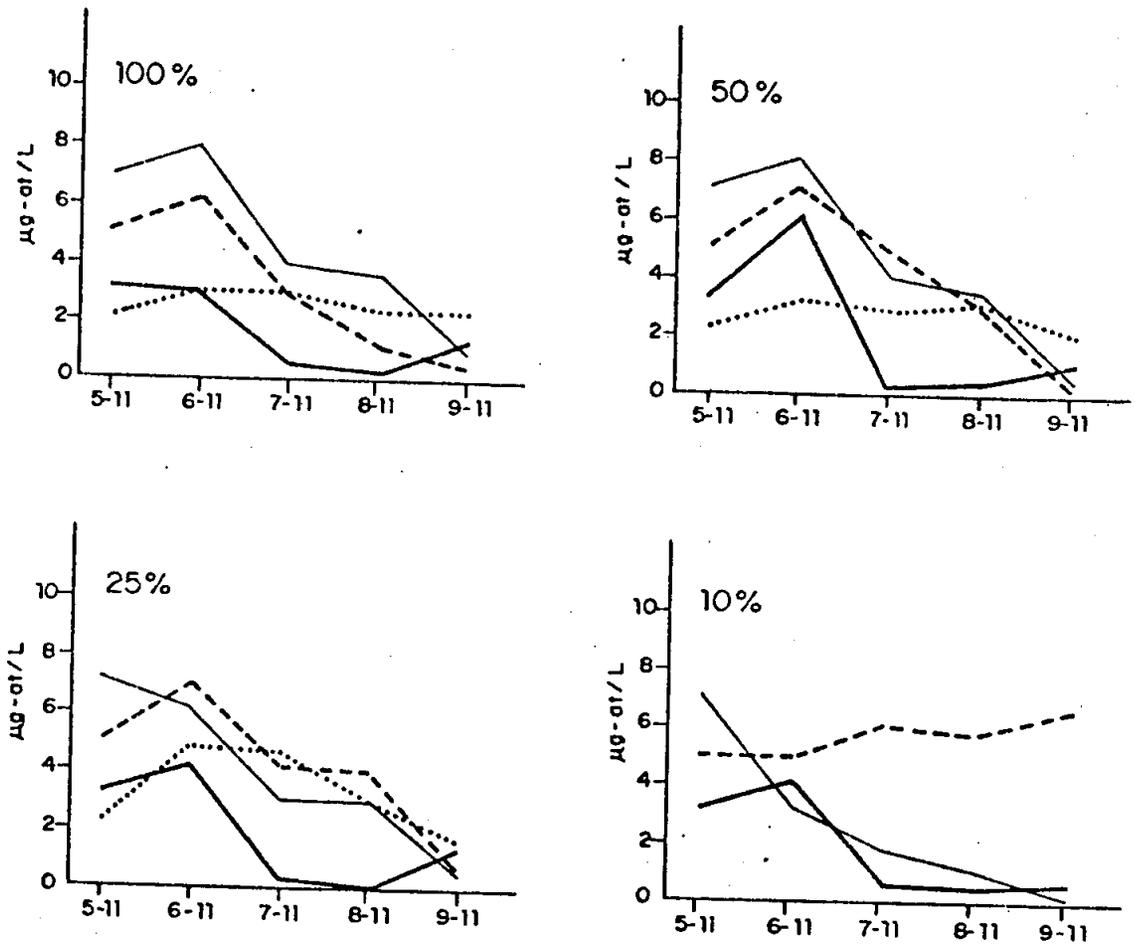


Fig.7- 2° Bioensayo $\text{NO}_3^- \mu\text{g-at/L}$

- A = AGUA DE MAR ———
- B = AGUA DE RIO - - - - -
- C =
- D = - . - . - .

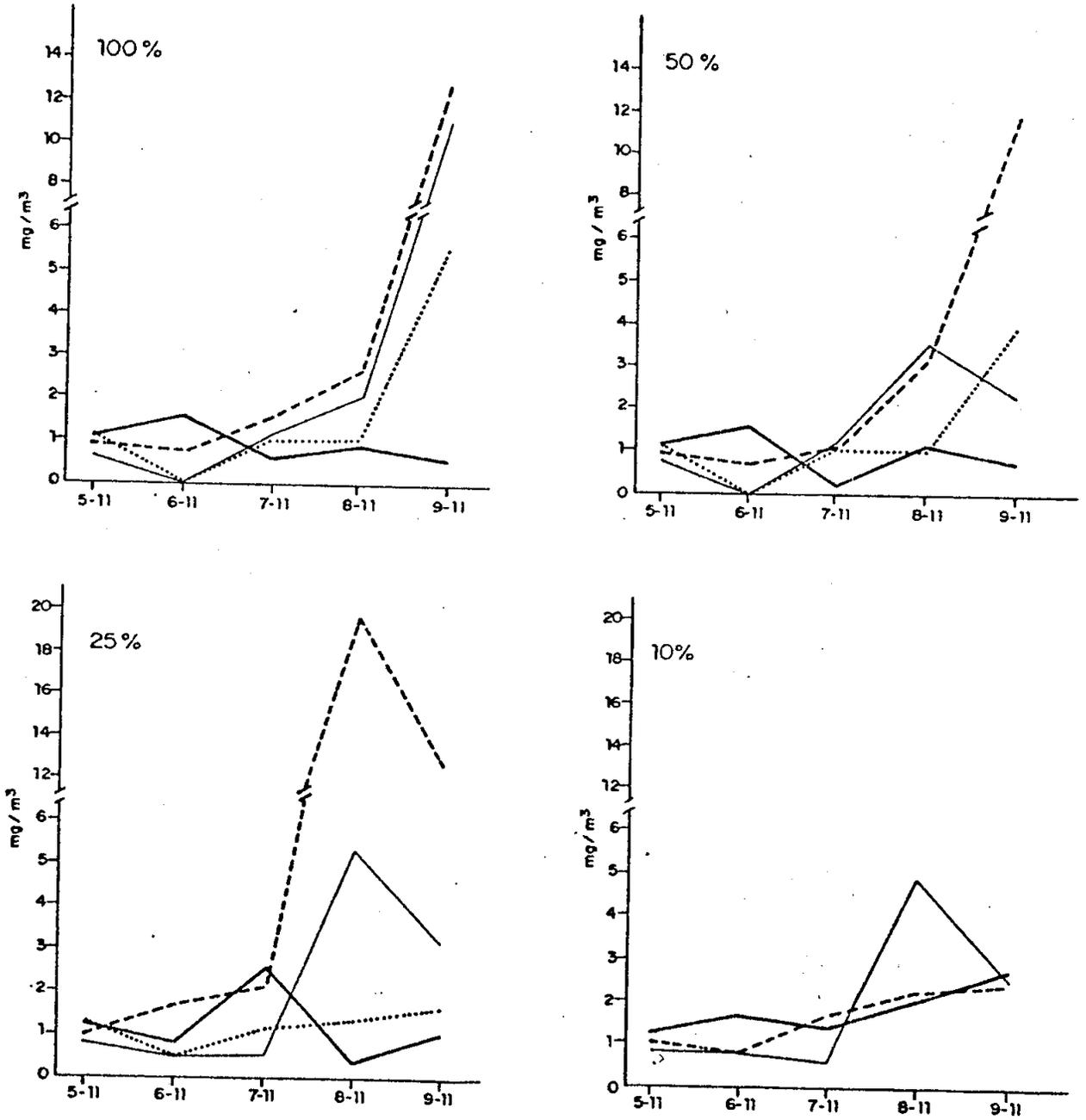


Fig. 8.- 2º Bioensayo Clorofila "a" mg/m³

- A = AGUA DE MAR ———
- B = AGUA DE RIO - - - - -
- C = (dotted line)
- D = - - - - - (long-dashed line)

EL FENOMENO EL NIÑO 1982-83 Y SUS EFECTOS FRENTE AL PUERTO DEL CALLAO

Por

Oscar Guillén y Nelson Lostaunau

1. INTRODUCCION

El fenómeno El Niño es una anomalía de la interacción oceano-atmósfera en gran escala, cuya interacción no es muy bien conocida. Se presenta con diferentes intensidades, con intervalos de 5 a 16 años y su duración es variable. Produce efectos biológicos económicos y sociales, pero aún no se conoce a cabalidad sus impactos ecológicos.

Los eventos principales de El Niño fueron los ocurridos en 1981, 1925-26, 1940-41, 1957-58, 1972-73, 1976 y 1982-83, los cuales modificaron temporalmente las condiciones del mar y del clima de la costa, causando un impacto socio económico negativo para el Perú.

Otro proceso que caracteriza al mar peruano además de El Fenómeno El Niño es el proceso de afloramiento costero, cuyas aguas se caracterizan por su baja temperatura, alto contenido de nutrientes y baja concentración de oxígeno.

Las condiciones oceanográficas frente al Callao, han sido dadas por Guillén (1964) y Zuta y Guillén (1970). Guillén y Aquino (1978) y Guillén et al (1978) han descrito las condiciones físico-químicas del Puerto del Callao. El seguimiento del Fenómeno El Niño 1982-83 han sido hechos por Zuta et al (1985) y por Guillén et al (1983) y Guillén (1985).

2. MATERIAL Y METODOS

Se han utilizado para el presente estudio los datos provenientes de los siguientes muestreos:

- Muestreo 8209 del 29 al 30 de Setiembre 1982
- Muestreo 8212 del 15 al 16 de Diciembre 1982
- Muestreo 8305 del 23 al 24 de Mayo 1983
- Muestreo 8403 del 23 al 26 de Marzo 1984
- Muestreo 8408 del 29 al 31 de Agosto 1984

Las cartas de posiciones son dadas en la Figura 1.

Las muestras fueron colectadas empleando botellas Niskin, las temperaturas se midieron usando termómetro reversible y termómetro de cubo, la salinidad fue determinada usando salinómetro Plessey Modelo 6230 y el oxígeno disuelto se analizó de acuerdo al método de Winkler modificado por Carpenter (1965).

Las determinaciones de fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos, y amonio fueron hechas de acuerdo a Strickland y Parson (1968). Las muestras de clorófila "a" fueron filtradas a través de filtros de vidrio Whatman GF/C, adicionándoles carbonato de magnesio y analizadas según Lorenzen (1967).

3. RESULTADOS

La circulación de las aguas en el Puerto del Callao, se hallan influenciadas principalmente por las aguas costeras frías que ingresan al Puerto, por las aguas provenientes de los afloramientos y por las descargas de las aguas procedentes del Rfo Rimac, lo que varían de acuerdo a la época del año. En años anormales las aguas subtropicales superficiales se hacen presente en el área frente al Puerto del Callao, modificando sus condiciones oceanográficas.

3.1 Distribución de la Temperatura, Salinidad y Oxígeno Disuelto.

En la superficie del mar (Figuras 2a, 3a y 4a) durante el invierno 1982, se hallaron temperaturas, salinidades y oxígeno de 15.60 a 18.40°C, de 34.60 a 35.09‰ y de 1.95 a 6.96 ml/l, respectivamente, correspondiendo a las aguas costeras frías las mayores temperaturas, salinidades y oxígeno disuelto ($> 16.5^{\circ}\text{C}$, $> 35.0\%$ y > 3.0 ml/l) que dominaron el área al norte del río Rímac. También se observó un flujo hacia el norte que ingresa al Puerto frente al Camotal con temperaturas $> 18^{\circ}\text{C}$, salinidades $> 35.0\%$ y > 6.0 ml/l de oxígeno disuelto. El afloramiento fue mínimo siendo más marcado frente a Acapulco con temperaturas $< 16^{\circ}\text{C}$ y mínimos valores de oxígeno disuelto (< 2.0 ml/l).

Frente a la Rada Interior como efecto de la circulación se observa un flujo hacia el oeste con temperaturas $< 16.5^{\circ}\text{C}$, salinidades $< 35.1\%$ y oxígeno disuelto < 3.0 ml/l. La influencia de las aguas procedentes del Río Rímac fue menor debido a su bajo caudal.

A un metro del fondo (Figuras 8a, 9a y 10a) la distribución temperatura y salinidad fue irregular, observándose cerca de la costa temperaturas ligeramente mayores que las de lejos de la costa. Al igual que en la superficie se observó un flujo hacia el norte frente al Camotal con temperaturas $> 17^{\circ}\text{C}$, salinidades < 35.0 y > 5.0 ml/l de oxígeno disuelto.

En la primavera 1982 (Figuras 2b, 3b y 4b) se observó en la superficie del mar un cambio bien marcado con respecto al invierno 1982. El rango de temperaturas, salinidades y oxígeno disuelto fue de: 23.20°C a 21.80°C, 35.74 a 35.00‰ y 5.97 a 1.54 ml/l, respectivamente.

Las aguas frías desaparecieron del área, siendo reemplazadas por las aguas subtropicales superficiales que ocuparon totalmente el área con temperaturas $> 22^{\circ}\text{C}$, salinidades

$> 35.1\%$ y oxígeno disuelto > 5.0 ml/l. Frente y cerca a la Rada Interior se observó en comparación al invierno 1982, un aumento de cerca de 7°C y un incremento de 0.5% de salinidad. Las aguas procedentes de la descarga del Río Rímac se caracterizaron por salinidades $< 35.1\%$ contenidos de oxígeno disuelto < 2.0 ml/l y temperaturas mayores de 22°C .

La distribución de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto (Figuras 8b, 9b y 10b) a un metro del fondo marino mostró un cambio marcado con respecto al invierno 1982, indicando la presencia de las aguas subtropicales que dominaron toda el área, con altas temperaturas, altas salinidades y altos contenidos de oxígeno disuelto, valores por encima de lo normalmente hallado en el área para la misma estación.

Frente a la Rada Interior y al Río Rímac las temperaturas estuvieron más de 5°C por encima de los hallados en el invierno 1982, asimismo sus salinidades fueron mayores.

En el otoño 1983 (Figuras 2c, 3c y 4c) fue más caliente que la primavera 1982. En la superficie del mar presentó un rango de temperaturas de 25.00 a 24.40°C , salinidades de 35.63 a 33.88% y oxígeno disuelto de 4.46 a 3.00 ml/l. Las aguas subtropicales superficiales dominaron el área con temperaturas $> 24^{\circ}\text{C}$, salinidades $> 35.1\%$ y oxígeno disuelto > 4.0 ml/l. Cerca a Fertisa se observó aguas de bajísima salinidad debido probablemente al aporte de las aguas de los colectores Callao y Comas.

Las aguas procedentes de la descarga del Río Rímac se caracterizaron por sus bajos valores de oxígeno disuelto < 3.0 ml/l y salinidades $< 35.2\%$ cuyas salinidades fueron aumentando a medida que se alejaban de la costa.

A un metro del fondo marino (Figuras 8c, 9c y 10c) al igual que en la superficie fue más caliente que la primavera 1982, observándose el dominio de las aguas subtropicales superficiales con temperaturas entre 24.29 y 24.90°C y salinidades entre 35.51 y 35.14‰, asociado a valores de oxígeno de 4.48 y 2.94 ml/L, valores mayores de lo normalmente encontrado en el área.

El verano de 1984 (Figuras 2d, 3d y 4d) mostró un cambio significativo con respecto al otoño 1985 con temperaturas, salinidades y oxígeno disuelto en la superficie del mar de 20.20 a 17.20°C, de 35.02 a 33.20‰ y 7.20 a 1.45 ml/l, respectivamente. Nuevamente se observa la presencia de aguas frías, sobresaliendo el flujo hacia el oeste de las aguas procedentes de la descarga de las aguas del Rfo Rímac, con temperaturas $< 18^{\circ}\text{C}$. Por otro lado, se halla un flujo hacia suroeste con salinidades muy bajas ($< 33.3\%$) y altos contenidos de oxígeno disuelto (> 7.0 ml/l), debido a la descarga de las aguas de los colectores Comas y Callao, que aportan aguas de baja salinidad y alto contenido de nutrientes, favoreciendo éste último la fotosíntesis.

A un metro del fondo (Figuras 8d, 9d y 10d) se halló un cambio bien marcado con respecto al Otoño 1983, mostrando la distribución de la temperatura características de un año frío siendo ligeramente más caliente que el invierno 1982, excepto cerca de la costa frente a la desembocadura del Rfo Rímac donde se halló un grado más de temperatura.

El invierno de 1984 (Figuras 2c y 4c) se caracterizó por ser un invierno frío, mucho más frío que el invierno de 1982, presentado en la superficie del mar temperaturas de 15.70 a 14.60°C y oxígeno disuelto de 2.80 a 1.10 ml/l.

El afloramiento costero fue más marcado frente a Aca pulco y al norte de la Rada Interior, siendo más intenso el último con temperaturas $\leq 14.6^{\circ}\text{C}$ y oxígeno disuelto $\leq 1.5 \text{ ml/l}$. En esta época la influencia de las aguas de la descarga del Rfo Rímac y de las aguas procedentes de la Rada Interior fueron mínimos.

La distribución de la temperatura a un metro del fondo (Figuras 8e y 10e) fue similar al de superficie, con temperaturas entre 14.20 y 15.00°C , siendo mucho más frío que el invierno 1982, lo que ha tenido gran influencia en la distribución de los sedimentos superficiales.

3.2 Distribución de Nutrientes

En el invierno de 1982 (5a, 6a y 7a) se halló en la superficie del mar valores de fosfatos, silicatos y nitratos entre 3.40 y 1.91, 28.98 y 8.17 y 17.03 y 2.39 $\mu\text{g-at/l}$, respectivamente.

Se observó un flujo hacia la costa al norte del Rfo Rímac con valores cerca de los normales de fosfatos y silicatos, pero en cambio los nitratos se hallaron en menor proporción ($\leq 2.5 \mu\text{g-at/l}$, $\leq 15 \mu\text{g-at/l}$ y $\leq 5 \mu\text{g-at/l}$, respectivamente). Otro flujo fue observado frente al Camotal hacia el norte cerca de la costa con concentraciones

$\leq 2.0 \mu\text{g-at/l}$ de fosfatos, $\leq 5 \mu\text{g-at/l}$ de nitratos y $\leq 15 \mu\text{g-at/l}$ de silicatos.

Como resultado del flujo predominante hacia la costa se tiene un flujo hacia el oeste frente a la Rada Interior con valores $> 3.0 \mu\text{g-at/l}$ de fosfatos, $> 20 \mu\text{g-at/l}$ de silicatos y $\leq 5 \mu\text{g-at/l}$ de nitratos. Debido al mínimo aporte de las aguas procedentes del Rfo Rímac en esta época no se observó algún efecto en la distribución de los parámetros físicos-químicos.

Los nutrientes a un metro del fondo (Figuras 11a, 12a y 13a) presentaron una distribución algo irregular, como resultado de los procesos de circulación y del afloramiento costero. Se observó un flujo hacia el norte que ingresa frente al Camotal con valores de fosfatos de ≤ 2.5 ug-at/l, silicatos ≤ 20 ug-at/l y ≤ 4 ug-at/l de nitratos.

En la primavera 1982 (Figuras 5b, 6b y 7b) se nota una fuerte disminución en la concentración de nutrientes con respecto al invierno, siendo más notorio en los nitratos, debido al dominio de las aguas subtropicales superficiales, presentando valores en la superficie del mar de 3.13 a 0.99, 26.42 y 7.79 y 13.76 y 2.40 ug-at/l de fosfatos, silicatos y nitratos, respectivamente.

Frente a Fertisa se encontraron los valores altos en silicatos y nitratos (> 25 ug-at/l y > 10 ug-at/l, respectivamente) y valores de fosfatos > 2.0 ug-at/l como efecto del flujo hacia el sur procedente de la descarga de los colectores Callao y Comas.

A un metro del fondo (Figuras 11b, 12b y 13b) se observó un cambio en la distribución de los nutrientes hallándose un decrecimiento de fosfatos y silicatos principalmente con respecto al invierno 1982. También se halló un flujo de oeste a este con valores de

> 8 ug-at/l de nitratos y ≤ 15 ug-at/l de silicatos.

El otoño 1983 (Figuras 5c, 6c y 7c) se caracterizó por un fuerte decrecimiento en la concentración de fosfatos y silicatos con respecto a la primavera de 1982 y manteniéndose casi igual los valores de nitratos, como resultado de los efectos de El Niño 1982-83, presentando valores de 2.35 a 0.70, 19.40 a 4.9 y 9.34 a 4.8 ug-at/l

fosfatos, silicatos y nitratos, respectivamente. Más allá de las dos millas se hallaron frente a Fertisa concentraciones menores de la mitad de fosfatos y silicatos en comparación con los encontrados en la primavera 1982.

Frente a Fertisa continuó el flujo hacia el sur observado en la primavera con valores más altos de fosfatos (> 2.25 ug-at/l y de silicatos $>$ de 15 ug-at/l, provenientes de las descargas de los colectores del Callao y Comas.

A un metro del fondo (Figuras 11c, 12c y 13c) se observó en general una disminución de la concentración de los nutrientes con los años normales, debido a la ocupación de las aguas subtropicales superficiales que dominaron el área, como efecto de la ocurrencia de El Fenómeno El Niño 1982-83. Se observó un incremento de silicatos con respecto a la superficie del mar, debido en parte al aporte de las aguas provenientes de la descarga del Río Rímac (> 15 ug-at/l).

3.3 Distribución de Clorófila "a"

En el invierno 1982 (Figura 14a) la distribución de clorófila "a" presentó valores en la superficie del mar entre 20.18 y 7.81 ug/l, hallándose las mayores concentraciones (> 20 ug/l) frente a la Rada Interior. Frente al Camotal, se observa un flujo hacia el norte con valores ≤ 10 ug/l de clorófila "a". Las mínimas concentraciones fueron encontradas al norte del Río Rímac.

A un metro del fondo marino (Figura 15a) la clorófila "a" se halló con valores entre 19.02 y 6.76 ug/l, presentando una distribución bastante irregular como resultado de los procesos de circulación y de mezcla, hallándose concentraciones mayores que las concentraciones en la superficie del mar. Frente y cerca de la Rada Interior (> 15 ug/l) los valores de clorófila "a" fueron inferiores a los de superficie

(> 20 ug/l)

En la primavera 1982 (Figura 14b) se halló valores en la superficie del mar de 27.07 a 0.96 ug/l de clorófila "a", encontrándose el máximo valor frente a la Rada Interior, mayor que el hallado en el invierno. Al norte del Rfo Rímac las concentraciones de clorófila "a" aumentaron como efectos del acercamiento de las aguas subtropicales superficiales hacia la costa, cuyas aguas se mezclaron con las aguas costeras ricas en nutrientes, elevando la producción fitoplanctónica, debido probablemente a especies de dinoflagelados que consumen más nitratos que silicatos.

La clorófila "a" a un metro del fondo (Figura 15b) presentó una distribución muy diferente a la del invierno 1982, observándose valores de 0.69 a 7.85 ug-at/l, muy inferiores a los de superficie y al invierno 1982, causados por la ocupación de las aguas subtropicales superficiales que abarcaron gran parte del área.

En el otoño 1983 (Figura 14c) se observó un gran cambio en la concentración de clorófila "a" hallándose en la superficie valores de 5.93 a 0.32 ug/l. Esta vez la máxima concentración fue hallada frente a Fertisa, inferior a los encontrados en el invierno y primavera 1982. La concentración hallada frente al Camotal fue de más de 10 veces inferior a los encontrados en el año 1982. Igualmente los valores encontrados frente a la Rada Interior o el Rfo Rímac fue de 12 y 5 veces menor que el encontrado en la primavera 1982. La gran disminución de clorófila "a" se debió, posiblemente al cambio de la composición fitoplanctónica.

A un metro del fondo (Figura 15c) la distribución de la clorófila "a" disminuyó con respecto al de superficie y a la primavera de 1982, presentando valores de 2.56 a 0.16 ug/l, debido a la ocurrencia de El Fenómeno 1982-83.

También se observó un flujo hacia la costa, con concentraciones < 0.5 ug-at/l de clorófila "a".

Con el verano 1984 (Figura 14d) la distribución de clorófila "a" en la superficie del mar presentó concentraciones de 26.97 a 0.62 ug/l, disminuyendo las concentraciones a medida que se alejan de la costa debido al dominio de las aguas costeras. La mayor concentración, a diferencia de las épocas anteriores correspondió al área frente al Río Rímac, posiblemente al mayor aporte de nutrientes de las aguas del mencionado Río.

La distribución de la clorófila "a" a un metro del fondo (Figura 15d) presentó valores de 7.37 a 0.53 ug/l, mayores que los encontrados en el otoño 1983, después de la ocurrencia del fenómeno El Niño 1982-83, restableciéndose las condiciones oceanográficas del área.

El invierno de 1984 (Figura 14e) correspondió a un invierno frío con concentraciones de clorófila "a" con la superficie del mar entre 12.71 y 1.12 ug/l. La mayor concentración (> 10 ug/l) se halló al norte de Aca pulco, casi 3 veces mayor que el verano del mismo año.

A un metro del fondo (Figura 15e) la distribución de la clorófila "a" presentó valores de 13.82 a 0.24 ug/l, presentando cerca de la costa concentraciones mayores que en la superficie. Frente o cerca a la Rada Interior y el Río Rímac los valores de clorófila "a" fueron mayores que los hallados durante el verano 1984 y con 10 veces más de lo encontrado durante el otoño 1983.

4. DISCUSION

El Niño 1982-83 se ha presentado con características y efectos singulares muy diferentes en los eventos anteriores, producien

do cambios en el ecosistema marino, dando como resultado una baja productividad y un impacto negativo socio-económico. Durante El Niño 1982-83 (Zuta y Guillén 1983) las aguas de la región ecuatorial (salinidad $< 34.3\%$) avanzaron hasta la latitud de 14°S , aproximadamente, asociado con bajísimas concentraciones de nutrientes ($< 6.0 \text{ ug-at/l}$ de silicatos, $< 0.4 \text{ ug-at/l}$ de nitratos y 0.2 ug-at/l fosfatos). Las concentraciones de los fosfatos y nitratos fueron inferiores a las encontradas en El Niño 1972.

La evolución el fenómeno El Niño 1982-83 es evidente de la distribución de las temperaturas, salinidades, oxígeno disuelto, fosfatos, nitratos y silicatos durante el invierno y primavera 1982 y otoño 1983 (Figuras 2 al 13).

Durante el invierno 1982 (Figuras 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a y 14a) se notó un calentamiento en el área con respecto al promedio y la presencia de aguas de mezcla de aguas subtropicales superficiales, pobres en nutrientes con aguas costeras ricas en nutrientes, creando condiciones favorables para el crecimiento del fitoplancton, tal como se puede ver en la distribución de la clorófila "a" (Figuras 14a) con valores promedios de 10.72 ug/l alcanzando su mayor concentración cerca de la Rada Interior ($> 20 \text{ ug/l}$) asociado a bajísimos contenidos de nitratos $< 5 \text{ ug/l}$ (Figura 7a) debido a que posiblemente las especies dominantes eran aquellas que contienen gran cantidad de clorófila "a" y que consumen gran cantidad de nitratos, dando como resultado que la distribución de los nitratos sean bajos en comparación a los silicatos.

En la primavera (Figuras 2b, 3b, 4b, 5b, 6b, 7b y 14b) se observó en la superficie del mar un incremento de temperatura de más de 6°C que el invierno 1982, observándose esta vez la presencia en toda el área de aguas subtropicales superficiales (Salinidad $> 35.1\%$), asociado a altos contenidos de oxígeno ($> 5.0 \text{ ml/l}$). Los nutrientes disminuyeron, debido en parte al consumo de las especies fitoplanctónicas y al

dominio de las aguas subtropicales superficiales. La concentración de la clorófila "a" (Figura 14b) aumentó debido en parte al crecimiento de especies que contienen gran cantidad de clorófila "a" y al buen abastecimiento de nutrientes, manteniéndose los nitratos como posible factor limitante.

En el otoño 1983 (Figuras 2c, 3c, 4c, 5c, 6c, 7c y 14c) el calentamiento continuó pero debido al aporte de las aguas procedentes del Río Rímac y del flujo hacia el sur frente a Fertisa que lleva aguas de baja salinidad, la salinidad en la superficie disminuyó debido a los procesos de mezcla y de advección. Por otro lado los nutrientes disminuyeron con respecto a la primavera, observándose se frente a Fertisa un aporte de fosfatos y silicatos, favoreciendo la producción fitoplanctónica ($> 5 \mu\text{g/l}$).

Como resultado de los procesos de mezcla la producción fitoplanctónica decreció grandemente en el área con respecto a la primavera 1982, debido en parte al cambio en la composición fitoplanctónica.

En la primavera 1983 (Figura 16) calentamiento decreció, alcanzando condiciones casi normales a fines de la primavera 1983. En el verano de 1984 (Figuras 2d, 3d, 4d y 14d) se notó un cambio en la distribución de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto con respecto al otoño 1983, debido al retorno a la normalidad de las condiciones oceanográficas. La baja salinidad (Figura 3d) observada en el área fue el resultado de los procesos de mezcla de advección de las aguas frías de la corriente costera con las aguas procedentes de la descarga del Río Rímac y del flujo procedentes del norte frente a Fertisa, que contienen bajos contenidos de salinidad. Lamentablemente no se dispone de datos de nutrientes, pero se sabe que las aguas del Río Rímac aportan gran cantidad de nutrientes creando condiciones favorables para la fotosíntesis, tal como pue-

de apreciarse cerca de la descarga de las aguas del Rfo Rímac aportan gran cantidad de nutrientes creando condiciones favorables para la fotosíntesis, tal como puede apreciarse cerca de la descarga de las aguas del Rfo Rímac ($>25 \text{ ug/l}$) más de 12 veces mayor que a lo encontrado en el otoño 1983. La producción fitoplanctónica en términos de clorófila "a" fue mayor cerca de la costa, debido en parte al aporte de las aguas procedentes del Rfo Rímac.

El enfriamiento continuó alcanzando en el invierno de 1984 (Figuras 2e, 3e, 4e y 14e), temperaturas menores que el promedio, como resultado del afloramiento costero hallándose concentraciones de clorófila "a" (Figura 14e) de 5 a 2 ug/l en la mayor parte del área estudiada.

A un metro del fondo marino (Figuras 8 al 13 y 15) se puede apreciar la presencia de las aguas salinas y calientes durante el invierno y primavera 1982 y otoño 1983, especialmente las dos últimas, asociadas a bajas concentraciones de nutrientes dando la apariencia de que los nitratos es el factor limitante, alcanzando los menores valores de clorófila "a" en el otoño 1983, (Figura 15c), asociado a las menores concentraciones de nutrientes, hallándose los nitratos en menor cantidad que los silicatos.

El promedio de todos los datos comprendidos en el área $12^{\circ}03'$ es mostrada en la tabla 1 donde se observa la evolución de El fenómeno El Niño. En la primavera 1982 (22.71°C) se observa un aumento de más de 6°C con relación al invierno 1982 (16.20°C) aumentando las temperaturas en el otoño 1983 (24.62°C), decreciendo luego en el verano 1984 (18.97°C). Igualmente el desarrollo de el fenómeno El Niño puede observarse en las figuras 2 al 16. Las altas temperaturas observadas en la primavera 1982 y otoño 1983 estaban asociadas a salinidades altas, propias de las aguas subtropicales superficiales (Figuras 2b, 2c, 3b y 3c).

La evolución de los nutrientes (nitratos, silicatos y fosfatos) durante El Niño 1982-83 (Figuras 5, 6 y 7) señalan que los nitratos podrían ser el nutriente limitante de la producción primaria. La regeneración de nutrientes y los procesos de nitrificación y desnitrificación son en parte los causantes de la variación de la concentración de los nitratos, fosfatos y silicatos. Así las relaciones P:N:Si de los promedios en la superficie del mar de 1: 2.5:5.9, 1:3.8:7.8 y 1:5.3:8.8 para el invierno y primavera 1982 y otoño 1983, respectivamente, mostraron una diferencia en la relación de nutrientes en comparación al promedio 1:16:16 (P:N:Si) dados por Guillén y Rondán (1973). Dichas relaciones señalan a los nitratos como aparente factor limitante de la productividad, lo que está de acuerdo con lo encontrado por Guillén y Aquino (1978) para la misma área y diferente a lo hallado por Guillén *et al* (1978) que señalan a los silicatos como posible factor limitante.

Los promedios de los fosfatos (Tabla 1) señalan un decrecimiento de 2.54 ug-at/l del invierno 1982 a 1.77 ug-at/l en la primavera 1982, decreciendo a 1.27 ug-at/l en el otoño 1983 como resultado del predominio de las aguas subtropicales superficiales, que se mezclaron con las aguas costeras ricas en nutrientes.

Los promedios de clorófila "a" (Tabla 1) señalan un decrecimiento de 13.18 ug/l en la primavera a 2.39 ug/l en el otoño 1983 y luego finalizado El Niño se duplica en el verano 1984 (4.81 ug/l). Los valores altos de clorófila "a" encontradas en la superficie del mar durante el invierno y primavera 1982 (Figuras 14a y 14b) posiblemente fueron causados por el desarrollo de especies fitoplanctónicas compuestas principalmente por dinoflagelados que consumen más nitratos que silicatos, causando una deplección de los nitratos, decreciendo luego en el otoño 1983 (Figura 14c), debido posiblemente al cambio en la composición del fito-

plancton y en parte a los procesos de mezcla y circulación, aumentando luego en el año 1984 (Figuras 14d y 14e) a los niveles casi normales (Guillén e Izaquirre de Rondán, 1973).

Los vientos no cesaron durante El Niño 1982-83 (Smith, 1983) siendo favorablemente hasta marzo 1983 a lo largo de la costa peruana, pero en mayo 1983 los vientos se debilitaron. Como resultado de ello el afloramiento costero continuó, pero las aguas subsuperficiales que afloraron fueron calientes y pobres en nutrientes, dando como resultado un decrecimiento de la producción fitoplanctónica y un efecto adverso al zooplancton, peces, etc, lo que está de acuerdo a lo hallado por Barber y Chávez, 1983.

El fenómeno El Niño 1982-83 tuvo efectos negativos frente al Puerto Callao causando una pobre productividad en el otoño 1983, debido a que las aguas de la corriente fría que usualmente ocupan el área fueron reemplazadas por las aguas subtropicales superficiales que abarcaron toda la columna de agua, modificando la distribución de los parámetros químicos en los sedimentos y en el agua de mar (Guillén et al 1985 a y b) tal como se puede apreciar las figuras 2 al 15.

La Tabla 2 muestra los promedios de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fosfatos, nitratos, silicatos y clorófila "a" en la superficie del mar para las áreas: Latitudes: 12°00'-12°01', 12°01'-12°02' y 12°02' - 12°03'S.

La distribución de la temperatura superficial del mar (Figura 16) en la Estación de la Punta Callao (12°04'S y 77°10'W) muestra la ocurrencia de los eventos principales de El Niño de: 1957-58, 1965, 1972-73, 1976 y 1982-83, cuya distribución es similar a otras estaciones costeras (Zuta y Farfán 1983). Por consiguiente la distribución de la Temperatura Superficial de la Estación La Punta más monitoreos mensuales de las condiciones oceanográficas en el Puerto del Callao podrían ser usados

como un indicador de los cambios oceanográficos en el Litoral Peruano.

En resumen El Niño 1982-83 tuvo grandes efectos en el ecosistema marino, produciendo cambios en el y en la pesquería, dando como resultado una baja productividad, inestabilidad de la industria pesquera, impacto negativo socio-económico, etc.

4. REFERENCIAS

- Carpenter, J. H. 1965. The Chesapeake bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol Oceanogr.* 10 (1): 141-143
- Guillén, O. 1964. Distribución y Variación Anual de Fosfatos y Oxígeno en la región Marítima del Perú (Feb. 1961-Enero 1962). Distribución y Variación Anual de Fosfatos y Oxígeno Disuelto en el área Marítima del Perú durante el año 1962. Instituto Recursos Marinos. In. N°28: 48 p.
- Guillén, O. 1985. Chemical Characteristics and Productivity off Perú during El Niño 1982-83. Presentado al Symposium on Vertical motion in the equatorial upper ocean and its effects upon living resources and the atmosphere, Paris-France: 6-10 Mayo 1985.
- Guillén, O. 1985a. Contaminación Marina en el Perú. Presentado al Seminario: Contaminación del Mar y su Efecto en los Recursos Pesqueros, Lima del 16 al 21 de Enero 1985.
- Guillén, O. 1985b. Contaminación Marina en el Perú. Presentado al Seminario sobre el Medio Ambiente Humano en el Perú Lima del 5 al 7 de Junio 1985.
- Guillén y R. Izaguirre de Rondán 1973. Distribution of Chlorophyll "a" in the coastal current. In: *Oceanography of the South Pacific 1972*, editor R. Fraser, New Zealand National Commission for UNESCO Wellington: 387-395.

- Guillén, O. y R. Aquino 1978. Contaminación de los Puertos del Callao y Chimbote y sus Efectos en la Productividad. Inf. Inst. Mar. 61: 17p.
- Guillén, O., T. Aquino, B. Valdivia y R. Calienes 1978. Contaminación en el Puerto del Callao. Inf. Inst. Mar, 62:14 p.
- Guillén, O., N. Lostaunau y M. Jacinto 1983. Características del Fenómeno El Niño 1982-83. Presentado al IX Congreso Latinoamericano de Zoología del 9 al 15 de Octubre 1983, Arequipa-Perú.
- Lorenzen, C.J. 1967. Determination of Chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric Equations. Limnol. Oceanogr. 12 (2): 343-346
- Smith, R. (1983). Perú Coastal Currents During El Niño:1976 and 1982 Science, 221: 1397-1399.
- Strickland, J. D.H. y T.R. Parsons. 1968. A practical handbook of seawater analysis. Bull 167, Fish. Res. Bol. Can. Queen's Printer Ottawa: 311p.
- Zuta, S. y O. Guillén 1970. Oceanografía de las Aguas Costeras del Perú. Bol. Inst. Mar. Vol. 2(5):157-324.
- Zuta, S. y O. Guillén 1983. Informe del Avance del Programa Oceanográfico del ERFEN en el Perú en 1981-82. Tercera Reunión del Comité Científico del ERFEN, 16-19 Feb.1983, Cali-Colombia.
- Zuta, S. y M. Farfán 1983. Evolution of sea surface Warming off Perú during the major El Niño Evento of 1982-83. Tropical Ocean Atmosphere Newsletter, N°21: 25-26.
- Zuta, S., M. Farfán y O. Morón 1984. Características principales del mar frente al Perú durante la evolución del evento El Niño 1982-83. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur, (15):141-178.

Zuta, S., M. Farfán y O. Morón 1985 Fluctuaciones de la TSM, SSM durante el evento El Niño 1982-83. Ciencia, Tecnología y Agresión Ambiental: Fenómeno El Niño. CONCYTEC, Lima, Perú.

TABLA 1: PROMEDIOS DE TEMPERATURA, SALINIDAD, OXIGENO DISUELTO, FOSFATOS, SILICATOS, NITRATOS Y CLOROFILA "a" EN LA SUPERFICIE DEL MAR FRENTE AL PUERTO DEL CALLAO.

CRUCERO	8209		8212		8305		3403		8408	
	Nº	X	Nº	X	Nº	X	Nº	X	Nº	X
TEMPERATURA (°C)	13	16.20	10	22.71	12	24.62	12	18.07	13	15.27
SALINIDAD (‰)	13	34.994	10	35.812	12	35.261	12	34.056	-	-
OXIGENO DISUELTO (ml/l)	13	2.88	10	3.80	12	3.90	12	4.04	13	2.00
FOSFATOS (ug-at/l)	13	2.54	10	1.77	12	1.27	-	-	-	-
SILICATOS (ug-at/l)	13	14.87	10	13.71	12	11.15	-	-	-	-
NITRATOS (ug-at/l)	13	6.25	10	6.71	12	6.77	-	-	-	-
CLOROFILA "a" (ug/l)	13	10.72	10	13.18	12	2.39	13	4.81	13	4.35

TABLA : 2 PROMEDIOS DE TEMPERATURA, SALINIDAD, OXIGENO
 DISUELTO, FOSFATOS, SILICATOS, NITRATOS Y
 CLOROFILA "a" EN LA SUPERFICIE DEL MAR FRENTE
 AL PUERTO DEL CALLAO

	CRUCERO	N°	\bar{X}	N°	\bar{X}	N°	\bar{X}
TEMPERATURA (°C)	8209	5	16.22	4	16.23	4	16.15
	8212	4	22.66	3	22.80	3	22.70
	8305	5	24.56	4	24.63	3	24.70
	8403	5	20.04	4	17.83	4	18.73
	8408	4	15.18	5	15.40	4	15.20
SALINIDAD (°/oo)	8209	5	34.892	4	35.051	4	35.066
	8212	4	35.297	3	35.330	3	35.662
	8305	5	35.126	4	35.339	3	35.380
	8403	4	33.780	4	33.969	4	34.419
OXIGENO DISUELTO (ml/l)	8209	5	2.80	4	3.48	4	2.39
	8212	4	2.61	3	4.24	3	5.24
	8305	5	4.15	4	3.56	3	3.95
	8403	5	4.91	4	3.96	4	3.02
	8408	4	2.13	5	2.08	4	1.78
FOSFATOS (ug-at/l)	8209	5	2.54	4	2.32	4	2.77
	8212	4	2.04	3	1.79	4	1.38
	8305	5	1.26	4	1.06	3	1.55
SILICATOS (ug-at/l)	8209	5	12.38	4	12.44	4	20.42
	8212	4	17.21	3	11.37	3	11.39
	8305	5	10.83	4	12.03	3	10.52
NITRATOS (ug-at/l)	8209	5	5.55	4	3.92	4	9.45
	8212	4	9.30	3	4.85	3	5.12
	8305	5	6.29	4	7.23	3	6.97
CLOROFILA "a" (ug/l)	8209	5	8.22	4	10.10	4	14.48
	8212	4	10.25	3	13.67	3	16.60
	8305	5	2.95	4	1.72	3	2.35
	8403	5	2.12	4	10.67	4	2.32
	8408	4	5.22	5	3.76	4	4.21

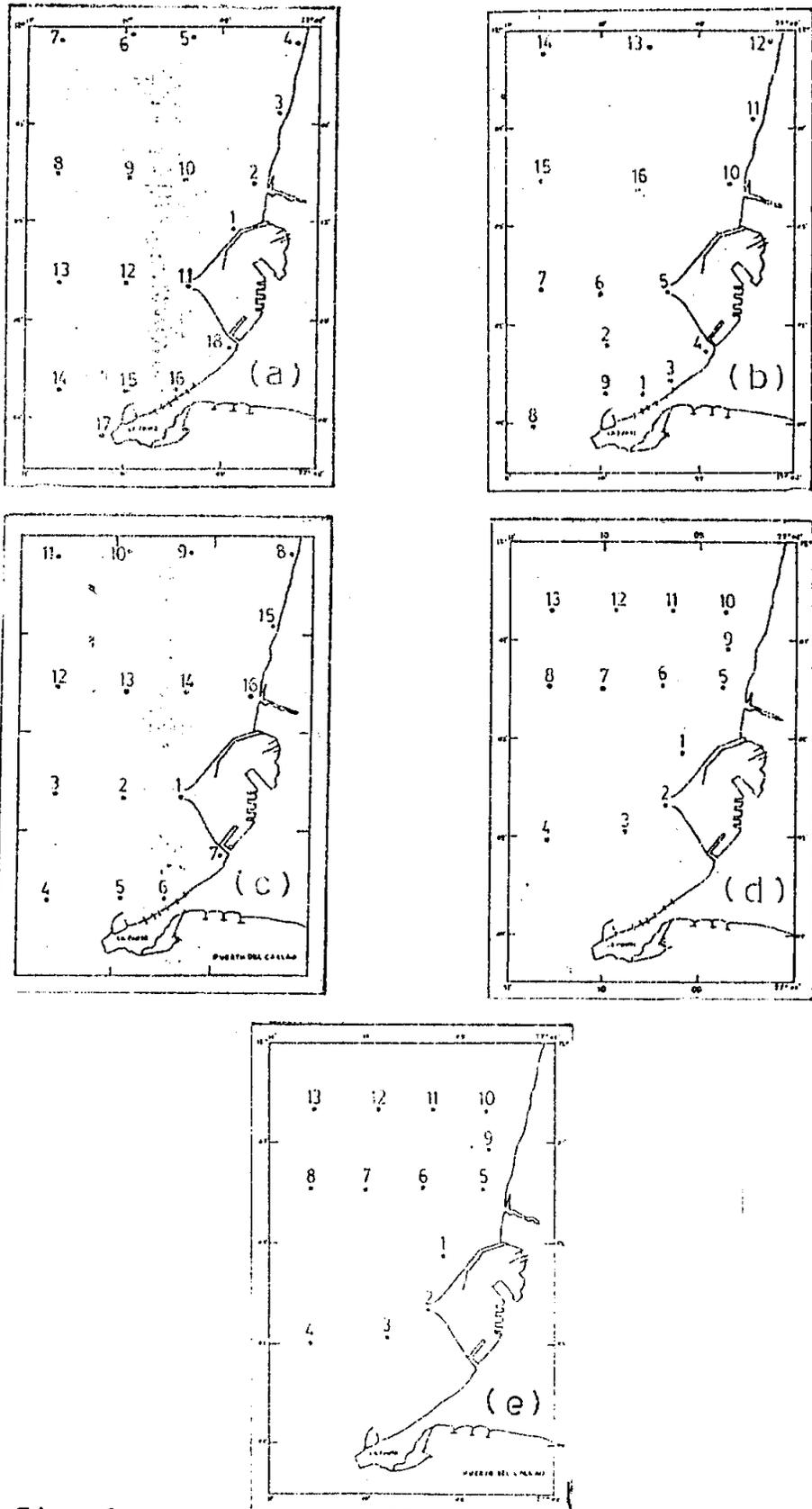


Fig. 1.-
 Carta de posiciones; 29-30 Set. 1982 (a), 15-16
 Dic. 1982 (b), 23-24 May. 1983 (c), 23-26 Mar. 1984
 (d) y 29-31 Ago. 1984 (e); en el área del mar
 frente al Puerto del Callao.

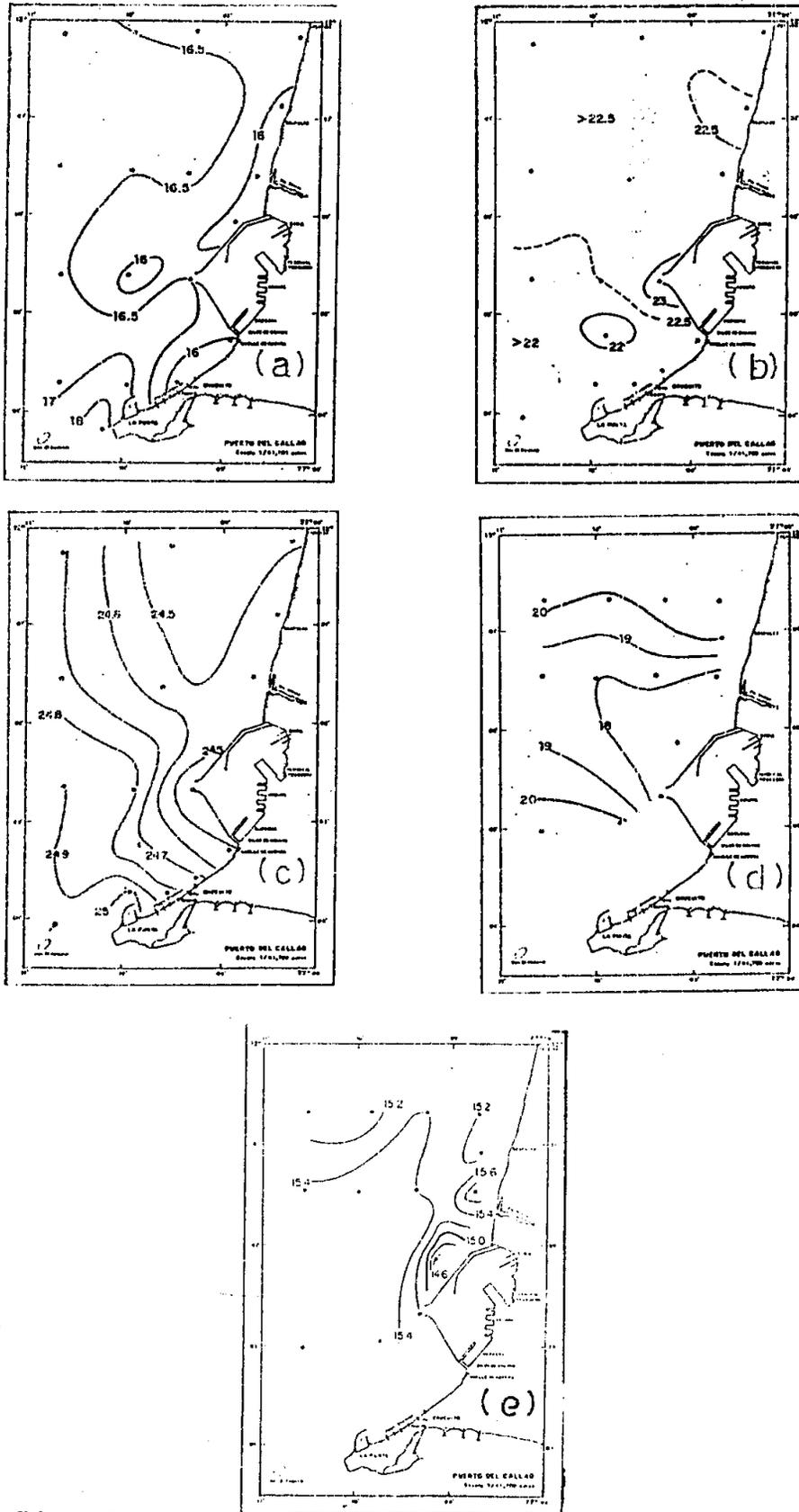


Fig. 2.-
Distribución de temperatura (°C) en la superficie del mar; 29-30 Set. 1982 (a), 15-16 Dic. 1982 (b), 23-24 May. 1983 (c), 23-26 Mar. 1984 (a) y 29-31 Ago. 1984 (e); frente al Callao.

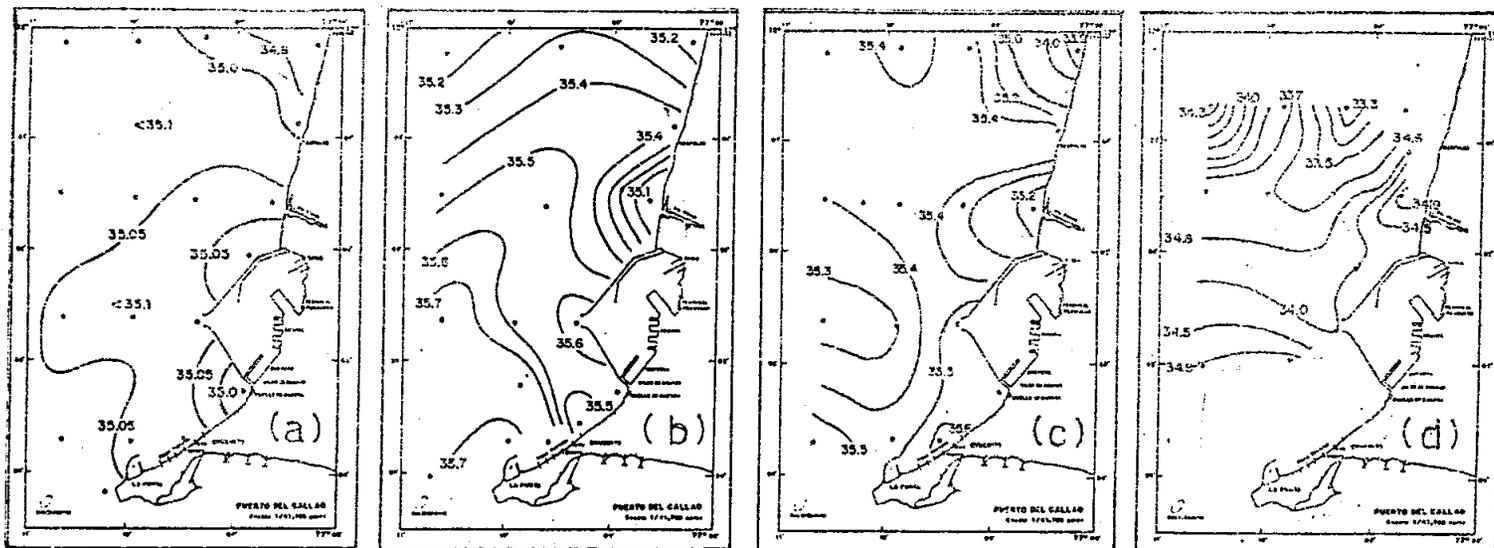


Fig. 3.- Distribución de Salinidad (‰) en la superficie del Mar; 29-30 Set. 1982(a), 15-16 Dic.1982(b), 23-24 May. 1983(c) y 23-26 Marz.1984(d); frente al Callao.

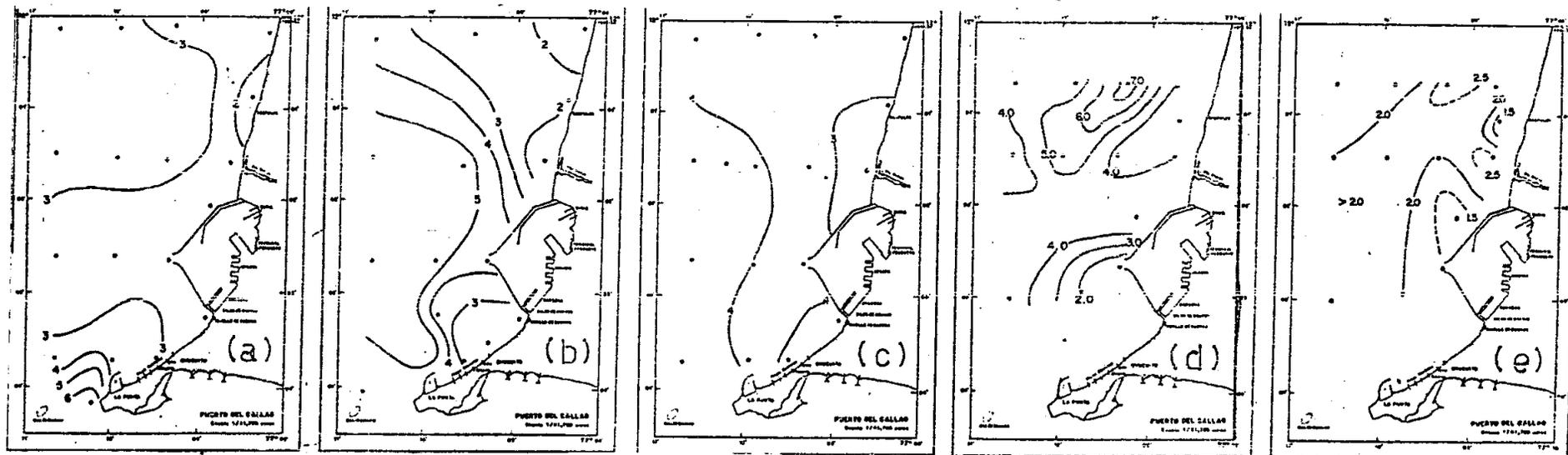


Fig. 4.- Distribución de oxígeno disuelto (ml/l) en la superficie del mar; 29-30 Set.1982(a), 15-16 Dic.1982(b), 23-24 May. 1983 (c), 23-26 Marz.1984(d) y 29-31 Agto.1984 (e); frente al Callao.

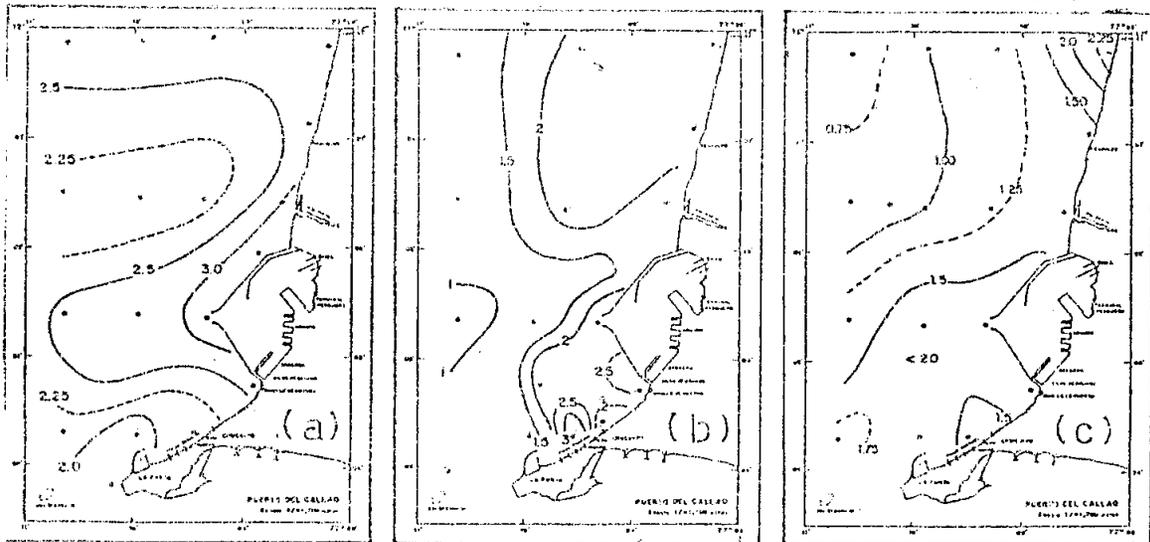


Fig. 5.-Distribución de fosfatos ($\mu\text{g-at/l}$) en la superficie del mar; 29-30 Set. 1982(a), 15-16 Dic.1982 (b) y 23-24 May. 1983(c); frente al Callao.

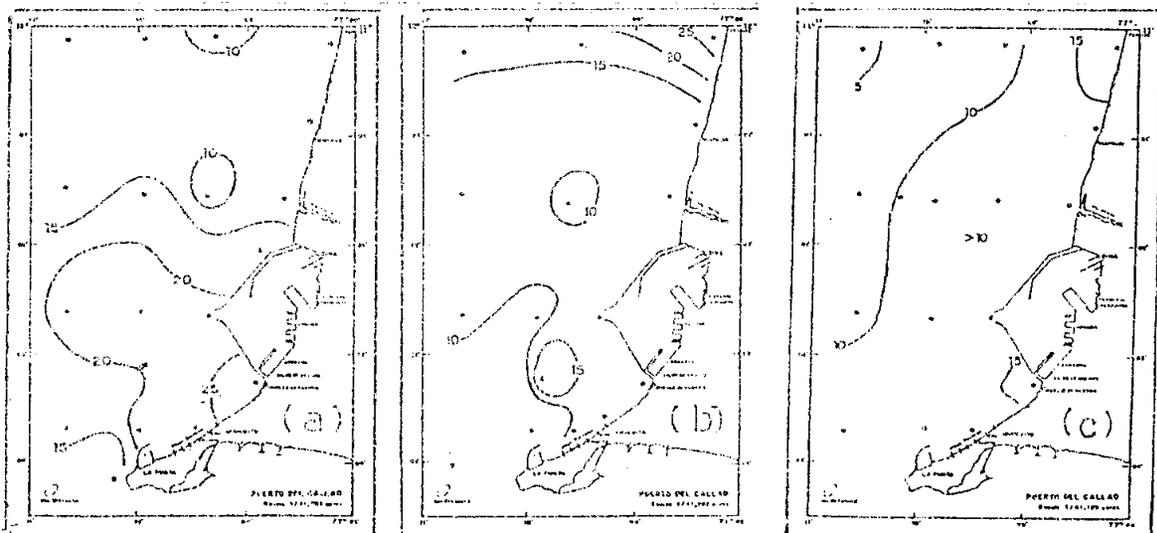


Fig. 6.-Distribución de Silicatos ($\mu\text{g-at/l}$) en la superficie del mar; 29-30 Set.1982(a), 15-16 Dic.1982 (b) y 23-24 May.1983 (c); frente al Callao.

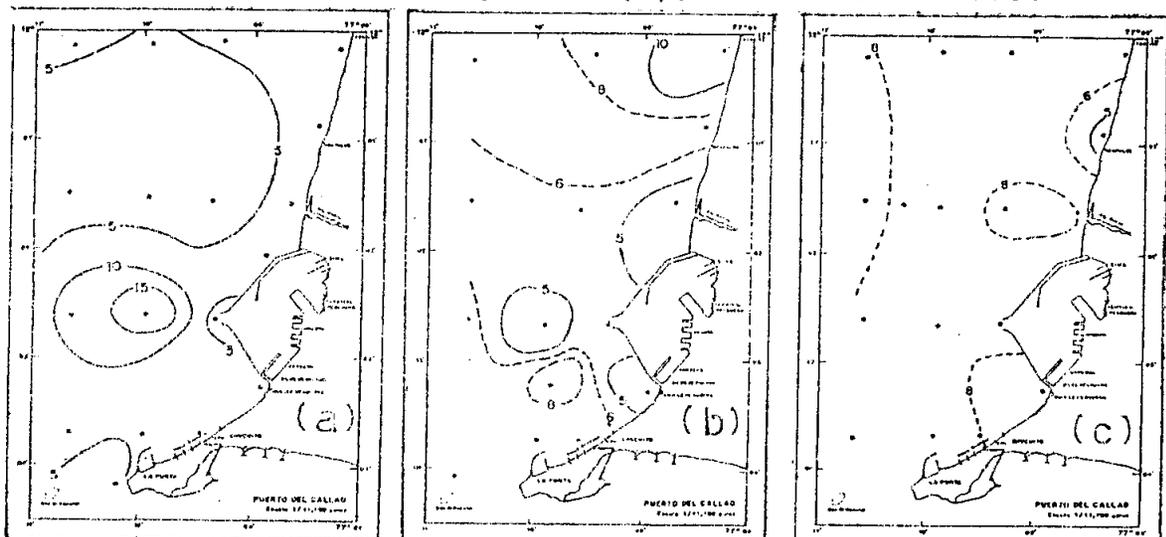


Fig. 7.- Distribución de Nitratos ($\mu\text{g-at/l}$) en la superficie del mar; 29-30 Set.1982(a), 15-16 Dic.1982 (b) y 23-24 May.1983(c); frente al Callao

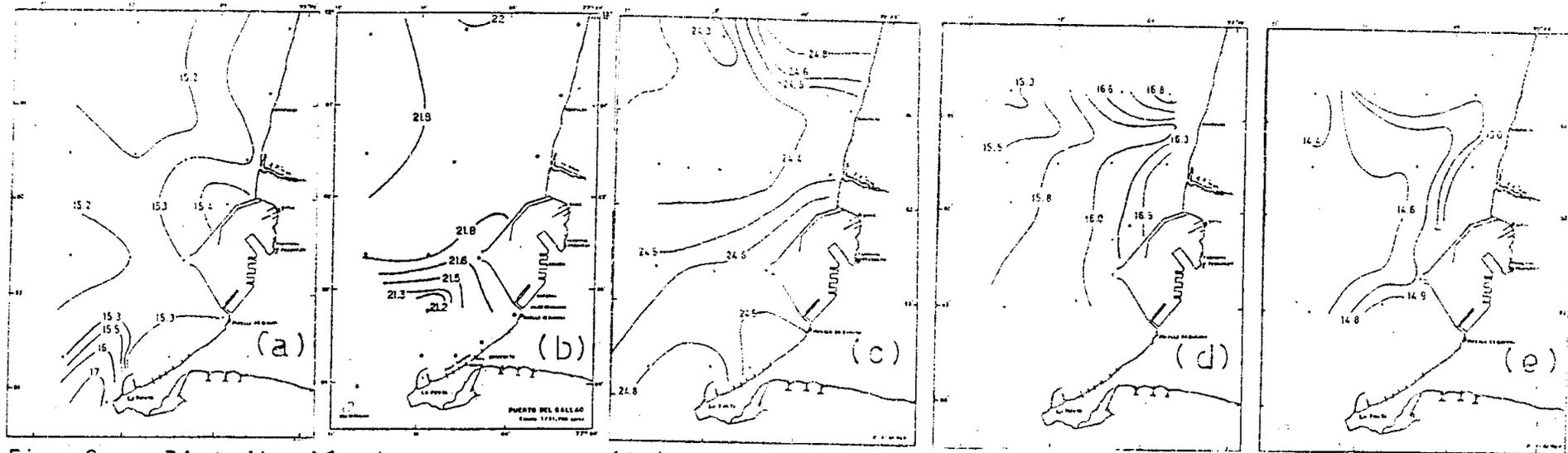


Fig. 8 .- Distribución de temperatura (°C), a un metro del fondo; 29-30 Set. 1982(a), 15-16 Dic. 1982(b), 23-24 May. 1983 (c), 23-26 Marz. 1984(d) y 29-31 Ago. 1984(e); frente al Callao.

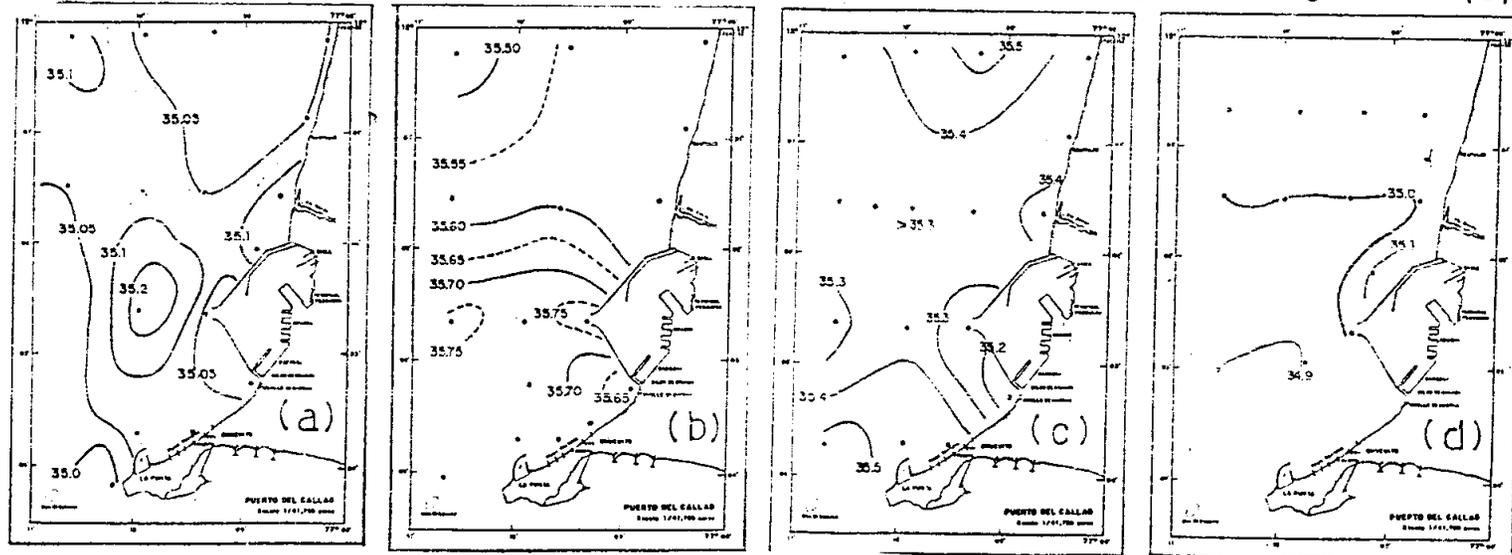


Fig. 9.- Distribución de Salinidad (‰); a un metro del fondo; 29-30 Set. 1982 (a), 15-16 Dic. 1982(b), 23-24 May. 1983(c), 23-26 Marz. 1984(d) y 29-31 Ago. 1984; frente al Callao.

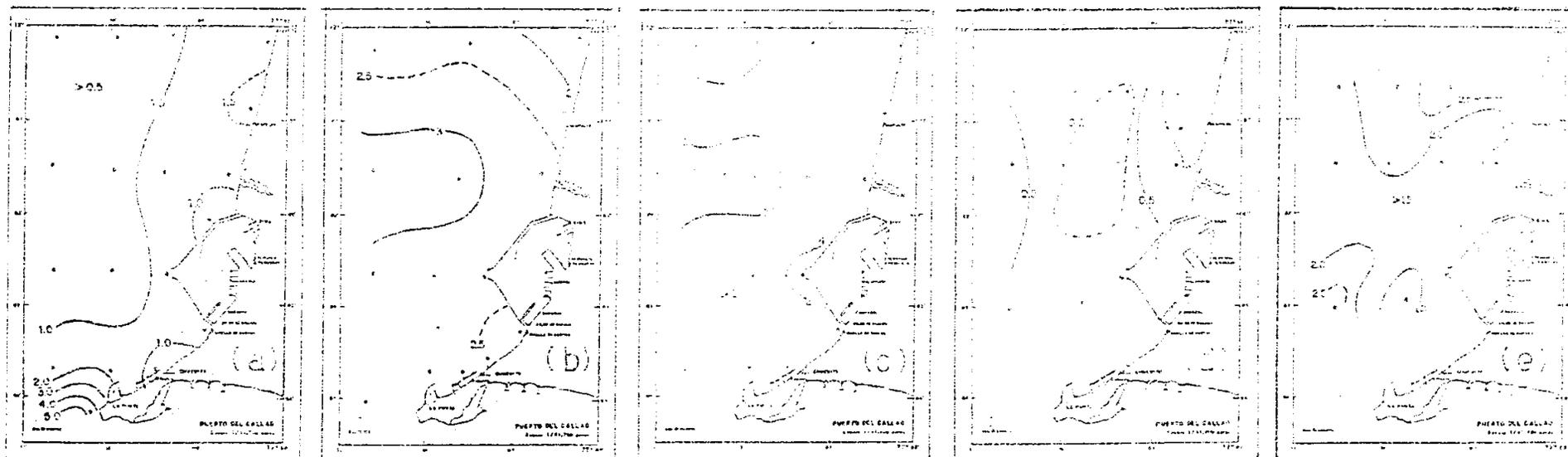


Fig. 10.- Distribución de oxígeno disuelto (mg/l), a un metro del fondo; 29-30 Set.1982(a), 15-16 Dic. 1982(b), 23-24 May.1983(c), 23-26 Marz.1984(d) y 29-31 Agto.1984(d); frente al Callao.

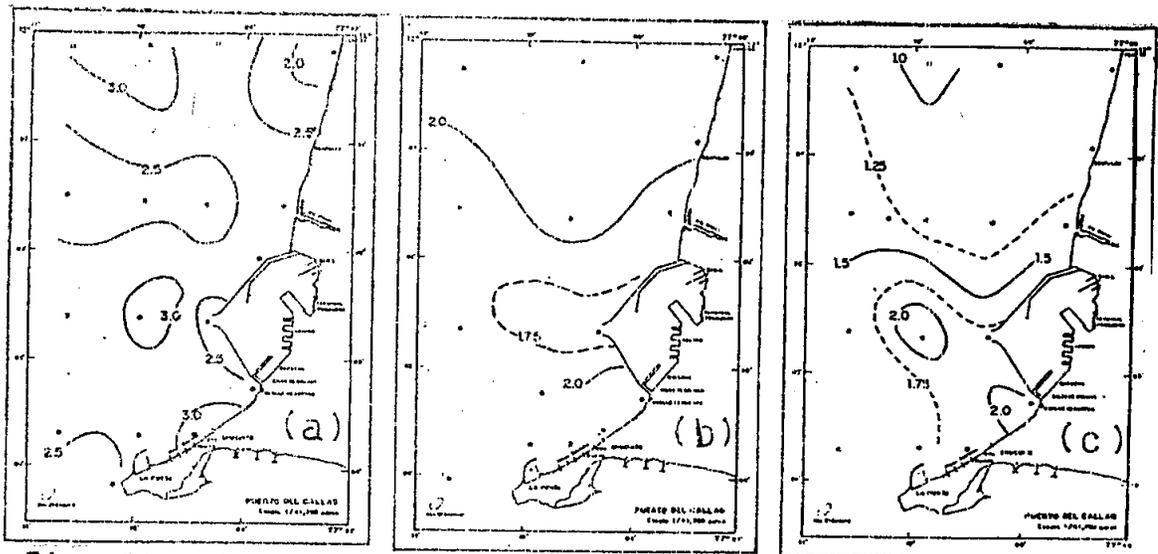


Fig. 11.- Distribución de fosfatos ($\mu\text{g-at/l}$); a un metro del fondo; 29-30 Set. 1982(a), 15-16 Dic. 1982(b) y 23-24 May. 1983(c); frente al Callao.

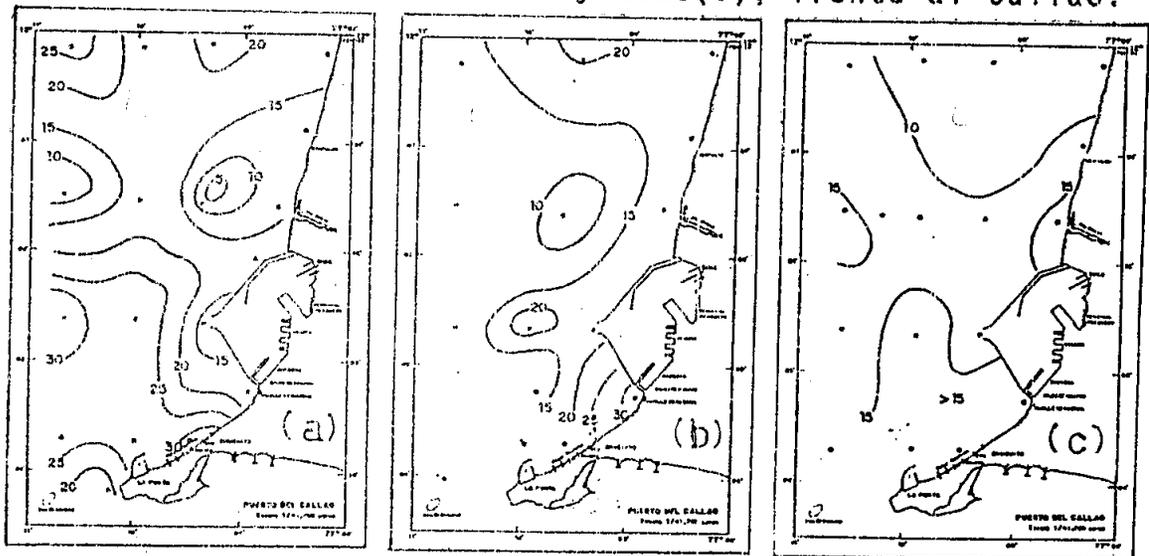
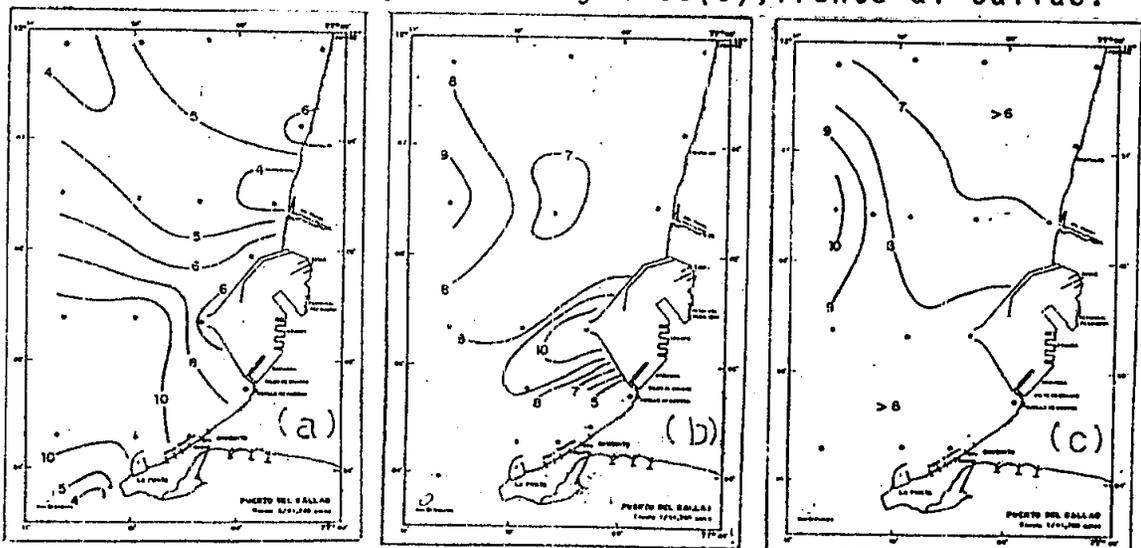


Fig. 12.- Distribución de Silicatos ($\mu\text{g-at/l}$); a un metro del fondo; 29-30 Set. 1982(a), 15-16 Dic. 1982(b) y 23-24 May. 1983(c); frente al Callao.



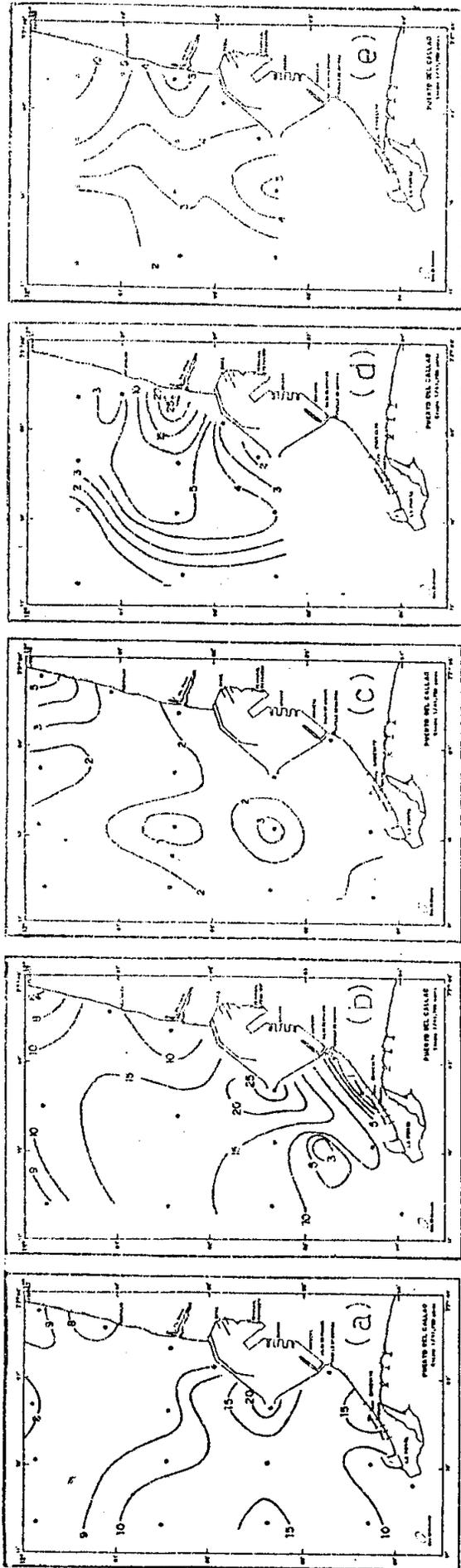


Fig. 14 .- Distribución de clorófila "a" (mg/m^3); en la superficie del mar, 29-30 Set. 1982(a), 15-16 Dic. 1982(b), 23-24 May. 1983(c), 23-26 Marz. 1984(d) y 29-31 Agto. 1984(e); frente al Callao.

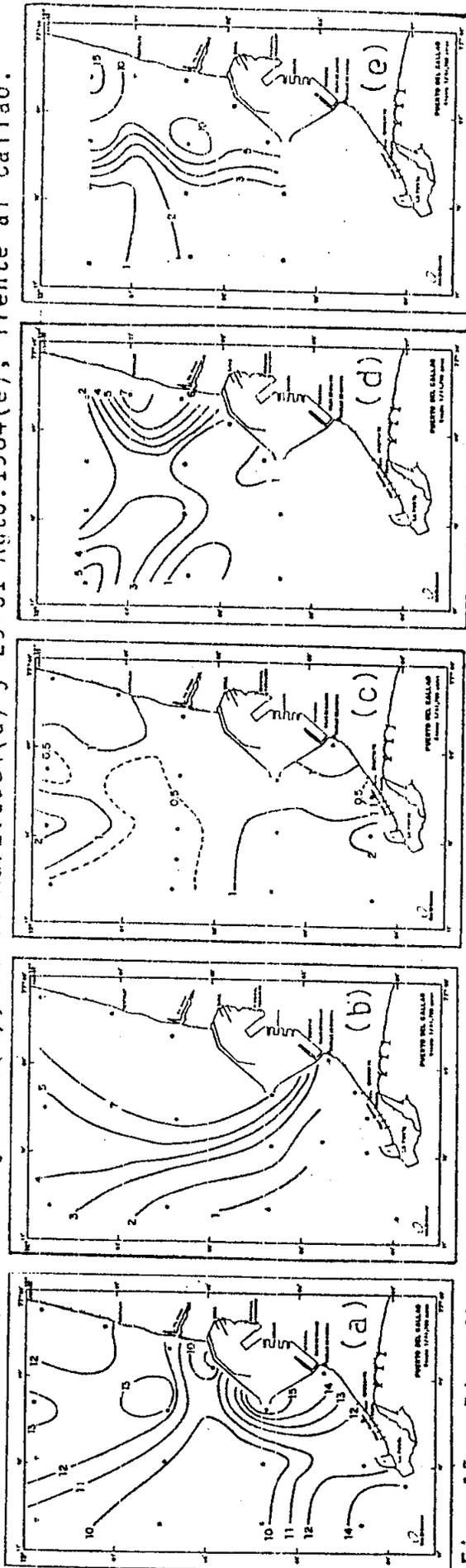


Fig. 15.- Distribución de clorófila "a" a un metro del fondo; 29-30 Set. 1982(a), 15-16 Dic. 1982(b), 23-24 May. 1983(c), 23-26 Marz. 1984(d) y 29-31 Agto. 1984(e); frente al Callao.

VARIACION DE LAS ANOMALIAS DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR EN LA PUNTA
(12°04'S, 77°12'W) de 1958 a 1985

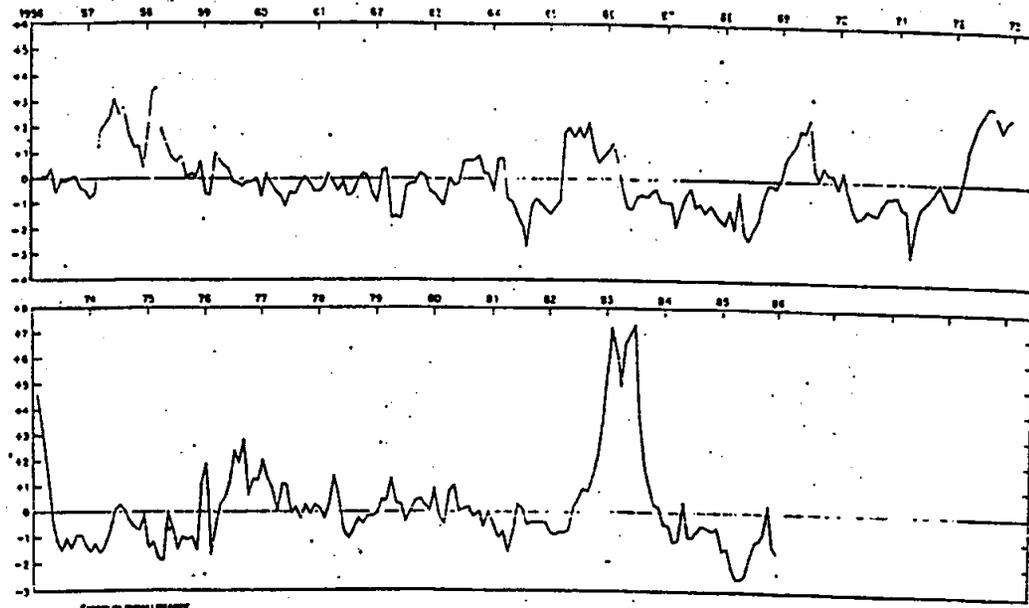


Fig. 16

CARBON ORGANICO PARTICULADO, CLOROFILA Y FOTOSINTESIS
EN EL AREA DE AFLORAMIENTO ENTRE PIMENTEL Y CHIMBOTE
(07°- 09°S)

Ruth Calienes y Rosa Aquino

INTRODUCCION

La cantidad de materia orgánica particulada en el mar depende de las características del agua, organismos planctónicos y demás constituyentes de la cadena alimenticia. El principal productor del carbón orgánico particulado es el fitoplancton por lo cual se deduce que debe existir una relación proporcional entre la distribución de estas variables en el mar; sin embargo, los efectos de advección y el hundimiento alteran la ubicación de los procesos químicos y biológicos originando que esta relación resulte muy variable en el ambiente marino.

La distribución y variación de clorófila así como la tasa fotosintética o producción primaria han sido ampliamente estudiadas en la costa peruana como estimados del fitoplancton y de su tasa de crecimiento. Sin embargo, muy pocos estudios se han hecho para determinar la relación entre estas variables biológicas y la cantidad de carbón orgánico particulado, el cual, tiene un rol significativo en el ciclo bioquímico de la materia orgánica del océano. Ryther and Menzel (1965), estimaron que en las áreas de afloramiento de Perú un 60% del carbón particulado en la zona eufótica sería material vivo y en la superficie el 100%. Menzel (1967), no encontró relación entre la distribución del carbón orgánico particulado de profundidad y el nivel de producción en la capa superficial del área de Cabo Blanco a Callao (4-12°S). Por otro lado, Barber (1967), en estudios de carbón orgánico disuelto halló que el decrecimiento de este estuvo asociado con el incremento de la producción primaria, clorófila y carbón particulado en el área de Pisco. Las relaciones entre carbón/clorófila han sido estudiadas por Lorenzen (1968) y Beers et al. (1971); quienes reportaron una tasa promedio de 40:1 para todas las profundidades

dentro de la capa eufótica y un índice de productividad mgC/mgClor./día de 60 (41-83) para San Juan, éste fue menor que el hallado por Guillén (1973) para la misma área (80). Uno de los trabajos más recientes sobre materia orgánica es el de Pocklington (1981), quien analizó la distribución de carbón y nitrógeno orgánico entre los 6°30 y 8°S de latitud y halló una significativa correlación estadística entre la cantidad de materia orgánica y otras propiedades químicas; la mayor cantidad de carbón orgánico particulado se encontró en aguas que tuvieron alta clorófila.

El interés de este estudio fue conocer la interrelación entre la biomasa del fitoplancton, producción primaria y carbón orgánico particulado en un importante centro de afloramiento y de alta productividad, Pimentel-Chimbote (Fig. 1) área que fue considerada dentro del Proyecto OEA/IMARPE (1971-1979) teniendo en cuenta su riqueza pesquera. Con este fin se consideró dentro del programa la adquisición de un equipo analizador infrarrojo y la contratación de un especialista en este campo. El Dr. Jonathan Sharp visitó el IMARPE por un mes con el fin de dar entrenamiento al personal sobre la metodología y procesamiento de datos de carbón orgánico disuelto y particulado, aspectos básicos considerando que el trabajo analítico de materia orgánica ha sido limitado por la precisión en los métodos disponibles. Aquí se presentan los resultados y discusión de la investigación realizada en esa oportunidad con el fin de obtener un mejor entendimiento sobre el rol del carbón particulado en los ciclos biológicos del área.

MATERIAL Y METODOS

Las muestras para las medidas de variables químicas y biológicas fueron obtenidas en el crucero de otoño SNP-1

7405-06. El área de estudio estuvo comprendida entre los 06° y 09°S de latitud (Fig. 2) y se ha seleccionado el perfil de Pimentel para mostrar las condiciones ambientales (Figs. 4, 5 y 6).

El análisis de nutrientes se realizó de acuerdo al método descrito por Strickland y Parsons (1972) y las muestras de clorófila fueron analizadas según Lorenzen (1967). Las medidas de fotosíntesis se realizaron por el método simulado in situ de carbono₁₄ dado por Strickland y Parsons (1972). Las muestras fueron incubadas a profundidades de la zona eufótica correspondientes al 100-50-25-10 y 1% de luz superficial.

En la determinación de carbón orgánico se siguió básicamente el método de Menzel y Vaccaro (1964) con modificaciones hechas por Sharp (1973 b). La curva standard obtenida en la calibración del analizador infrarrojo se muestra en la figura 3.

RESULTADOS

Estructura térmica y distribución de nutrientes

En la sección de Pimentel, la termoclina estuvo mejor desarrollada lejos de la costa con un gradiente vertical de 21°-16°C sobre los 100m. La termoclina fue más superficial con el acercamiento a la costa. En la superficie la distribución de temperatura mostró un rango de 18°-21°C, notándose una mayor extensión de las aguas del afloramiento de otoño en Pta. Aguja (Fig. 4). La capa de mezcla tuvo un espesor de 20m cerca de la costa donde tuvo características más definidas y se profundizó con la distancia de la costa, 40m. (100 millas). En la parte costera se observó la divergencia de las isotermas y en la de 16°C se apreció el hundimiento característico en esa área originando por

la extensión de las aguas ecuatoriales de la Corriente Cromwell (Fig. 5a). La salinidad tuvo una distribución bastante homogénea con el máximo superficial 35.1‰ cerca de la costa, el rango dentro de la capa de 100m. fue 34.98-35.1‰ (Fig. 5b).

Entre los nutrientes, los fosfatos y nitratos tuvieron una distribución similar, bastante uniforme en la capa superficial (0-20m) donde dominaron valores de 1.5 y 10 $\mu\text{g-at/l}$ respectivamente. La distribución vertical de silicatos mostró concentraciones mayores de 15.0 $\mu\text{g-at/l}$ en la misma capa de profundidad que fue la de mayor concentración del fitoplancton. El contenido de los tres nutrientes en la capa de 0-100m fue típico del afloramiento local con un rango de 0.90-3.00 $\mu\text{g-at/l}$ para fosfatos, 0.50-16.0 $\mu\text{g-at/l}$ de silicatos y 6.0-18 $\mu\text{g-at/l}$ de nitratos (Figs. 6a y b).

Clorófila

El área de estudio (6°-9°S) se caracteriza por tener una alta biomasa fitoplanctónica, mayor de 1.0 $\mu\text{g/l}$ de clorófila en superficie fuera de las 100 millas de la costa durante todo el año, excepto en junio y octubre (80 millas) y las máximas ocurren en verano (Calienes et al 1985). En contraste, la distribución superficial de clorófila del crucero SNP-1 7405-06 mostró valores inferiores en la mayor parte del área predominando en general concentraciones menores de 1 $\mu\text{g/l}$ valores mayores de 2 $\mu\text{g/l}$ solo se observaron cerca de la costa frente a Pimentel. En la distribución vertical, las concentraciones de clorófila fueron también bajas, valores menores de 1 $\mu\text{g/l}$ se encontraron en toda la columna especialmente en las estaciones lejos de la costa (58 y 60) a 90 y 170 millas fuera de Chimbote (Fig. 7,8). Las máximas concentraciones se localizaron en la capa de 0-20m de la zona eufótica sobre la nutriclina y en las estaciones costeras dentro de las 60 millas (Fig. 9). El total de clorófila en la zona eufótica integrada varió

entre 8.0 y 25.0 mg/m^2 valores muy diferentes al promedio del área en otoño (20-100 mg/m^2).

Producción primaria

El rango de producción superficial en el área según el promedio patrón estacional es de 10-100 $\text{mgC/m}^3/\text{dfa}$ pero en nuestras observaciones fue menor, 10-60 $\text{mg C/m}^3/\text{dfa}$. En la distribución vertical la producción primaria fue muy similar a la de la clorófila, los máximos de las tasas fotosintéticas se encontraron en las estaciones costeras (72 y 73) frente a Pimentel, 100-300 $\text{mg C/m}^3/\text{dfa}$. Por otro lado, las estaciones fuera de las 60 millas (Chimbote) tuvieron tasas fotosintéticas menores de 20 $\text{mg C/m}^3/\text{dfa}$, y las del área de Chicama se encontraron dentro del rango promedio. En general, la distribución total de la producción primaria dentro de la columna de agua fue baja para el área, menor de 0.50 $\text{gC/m}^2/\text{dfa}$ para la mayoría de estaciones, sólo en una estación costera (72) se halló una tasa alta de fotosíntesis alcanzando un valor de 2.23 $\text{gC/m}^2/\text{dfa}$, valor dentro del rango promedio del área.

Carbón orgánico particulado

La cantidad de carbón orgánico particulado en la sección de Chimbote varió entre 200-300 $\mu\text{gC/l}$ en las áreas alejadas de la costa (Est. 58 y 60) donde su distribución estuvo en estrecha relación con los otros parámetros del fitoplancton, clorófila y fotosíntesis. En el área de Chicama donde hubo incremento de clorófila y productividad, el contenido de carbón orgánico particulado también aumentó alcanzando valores hasta de 700 $\mu\text{gC/l}$ (170-700). El área más productiva frente a Pimentel, con mayor biomasa y alta producción primaria tuvo un rango de carbón particulado muy similar al de las estaciones costeras de

Chicama, pero relativamente más baja, si se considera que la producción primaria que fue mucho más alta que la del área de Chicama.

Con el fin de conocer las características y naturaleza del carbón orgánico particulado se computó el porcentaje de carbón particulado detrítico y vivo a partir del carbón total (Parsons, 1975). Los resultados de los cálculos mostraron porcentajes altos de carbón particulado detrítico en casi todas las profundidades de todas las estaciones (80%). Una excepción fue la estación 72 donde se observaron mayores valores de carbón vivo coincidiendo con las altas concentraciones de clorófila, tasas fotosintéticas y carbón orgánico particulado total, en esa estación el porcentaje del carbón del fitoplancton vivo alcanzó 25% del total.

Tasa carbón/clorófila

La composición química del fitoplancton puede ser afectada grandemente por cambios en las condiciones ambientales. De acuerdo a esta variación Antia et al (1963), reportó tasas de carbón/clorófila en relación a varios estados del desarrollo del fitoplancton. Las tasas fueron diferentes cuando las plantas crecieron en aguas con suficientes nutrientes (nitratos), que cuando crecieron en aguas que tuvieron deficiencia de nitratos por algunos días 25:1 y 60:1 respectivamente. Esta diferenciación es más conveniente a usar un estimado general para todo el fitoplancton sin considerar condiciones de crecimiento. Strickland (1960), sugirió un valor teórico de 30 para aguas de gran riqueza biológica, considerando que la proporción de plantas vivas en la materia orgánica es mucho más alta cerca de la costa que fuera de ella. La proporción de carbón orgánico asimilado

(C₁₄) a clorófila que se obtuvo con nuestros datos varió entre 36 y 46 para diferentes niveles de la capa de 0-20m, donde ocurrió la mayor producción; los mayores valores correspondieron a las áreas fuera de la costa con baja producción. La relación entre estas variables tuvo una mayor significancia en la capa productiva ya que en general las tasas fueron muy altas, lo que indicaría algún cambio ambiental o deficiencia de nutrientes en días anteriores al período de estudio que pudo afectar al fitoplancton.

Considerando que la proporción de clorófila a feopigmentos es un índice de la composición de pigmentos en el fitoplancton y por lo tanto indicativo de su estado fisiológico, se estimó esta relación. De acuerdo a Yentsch y Menzel (1963), la tasa clorófila/feopigmentos de 1.70 representaría clorófila pura, los valores hallados para nuestra área de estudio mostraron proporciones inferiores en relación a este valor, indicando la presencia de clorófila inactiva ó degradada, feopigmentos.

Tasa de crecimiento del fitoplancton

Muchas especies del fitoplancton son capaces de dividirse una vez por día y algunas especies más pequeñas se dividen aún más rápidamente, así los coccolitoforidos son completamente reemplazados 2 veces/día, esto origina que en un determinado momento el grupo ocurra en baja concentración en comparación con su rápida tasa de crecimiento.

La tasa de crecimiento expresada en términos de doble de biomasa del fitoplancton por día tuvo un rango de 0.19 a 1.79 con un promedio de 0.80 doubling/day dentro de la zona eufótica (0-35m), correspondiendo el valor inferior a una estación lejos de la costa y el mayor a la estación más productiva del área (72). Beers et al (1971), hallaron un promedio de 0.80 para el área de 10°-12°S y Strickland et al (1969), encontró 0.80 doubling/day para Pisco. Si-

milarmente Guillén y Calienes (1981), reportaron 0.6 y 0.8 d/d para San Juan en verano y otoño respectivamente, y 0.6 para Chimbote en primavera.

La estructura de la comunidad fitoplanctónica puede reflejar variabilidad en la tasa de crecimiento ó eficiencia de producción (Platt y Fillion, 1973). Calienes (1975, 1981), halló en el área de afloramiento de Callao tasas de crecimiento de 1.0 y 1.5 lo que representan una producción activa (Strickland et al. 1969). La composición de las poblaciones fitoplanctónicas en esa área tuvo una baja diversidad y estuvo constituida por especies de afloramiento, siendo las diatomeas los principales constituyentes (90%) en las especies Rhizosolenia delicatula, Skeletonema costatum, Thalassiosira subtilis, Nitzschia closterium y Thalassionema bacillaris ocurrieron en la capa de 0-20m durante todo el año.

Indice de productividad

La relación entre la biomasa y la productividad del fitoplancton de una población, las generaciones del fitoplancton que se reemplazan en un determinado tiempo, "turnover rate". La intensidad de la dinámica de la producción del fitoplancton es dada solo parcialmente por la biomasa, ó por la producción primaria, ya que poblaciones grandes de fitoplancton pueden tener comparativamente una baja tasa fotosintética, y a su vez, pequeñas comunidades pueden alcanzar una fotosíntesis alta debido a su activa producción. Sin embargo, si ambas son medidas simultáneamente, se puede calcular un índice de productividad (producción primaria/standing stock), el cual es útil para obtener una diferenciación entre el potencial productivo conocido de grandes poblaciones y el de pequeñas creciendo ac-

tivamente con alta productividad.

El índice de productividad (mgC/mg Clor./dfa) calculado para el área de estudio tuvo un rango de 7-97 para la zona eufótica. Beers (1971) reportó 28 en el área de Supe, casi la mitad del promedio dado por Lorenzen (1968), 60 (41-83) para el área de afloramiento de Pisco. Por otro lado, Guillén (1973) reportó índices de 40 y 20 para el área norte similar a la de este estudio.

DISCUSION

Un resultado inesperado en este estudio fue encontrar bajas la biomasa y la producción del fitoplancton por unidad de tiempo en comparación con las características referenciales del área (Guillén y Calienes, 1981; Calienes et al 1985). Las características físicas y químicas no presentaron anomalías de temperatura o bajo contenido de nutrientes durante el período de trabajo por lo cual puede atribuirse como causa de estos resultados las condiciones ambientales que afectaron al fitoplancton en días anteriores.

Siendo la mayor parte del carbón orgánico particulado en el mar derivado del fitoplancton, es de esperar que exista una relación directa entre el stock del fitoplancton y el carbón orgánico. Hobson et al (1973), encontraron un ciclo estacional de estos parámetros y concluyeron que las concentraciones del carbón particulado estuvieron generalmente asociadas con las áreas de alta producción primaria; sin embargo, en observaciones mensuales, esta relación no fue muy marcada. En general, el carbón particulado por su naturaleza, es altamente variable en aguas superficiales, y está directamente relacionado a la

INDICES DE FITOPLANCTON EN AREAS DE AFLORAMIENTO 292

productividad del fitoplancton determinada por la clorófila ó por la asimilación de carbono 14 (Menzel y Goering, 1966; Strickland et al 1970). También es necesario considerar los efectos de la advección y el hundimiento que alteran la ubicación real de los procesos químicos y biológicos y consecuentemente la distribución de las variables biológicas.

Las diferentes variables estudiadas en el área Pimentel-Chimbote guardaron una estrecha relación entre sí, los datos de clorófila, fotosíntesis y carbón particulado dentro de la zona eufótica mostraron en general una distribución con igual tendencia de abundancia. En base a la similitud entre los perfiles de carbón 14 asimilado y de clorófila, es posible asumir que por lo menos en algunas estaciones y niveles de la columna de agua, el carbón estuvo asociado con la clorófila fotosintéticamente activa y por lo tanto con fitoplancton vivo. La estación 72 mostró una proporcionalidad definida, el rango de carbón orgánico para esta estación fue alto 400-650 $\mu\text{g-C/l}$ y la tasa de carbón/clorófila tuvo un rango de 38:1 y 46:1 para los niveles de 0 y 10m, valores muy aproximados a los obtenidos por Lorenzen (1963) quien señaló una proporción de 40:1 para un crecimiento activo del fitoplancton. Este aspecto se comprobó calculando la tasa de crecimiento para la capa eufótica que alcanzó un $\mu = 1.78$ doubling/day, la más alta entre todas las estaciones seleccionadas, y que por tener las concentraciones de clorófila y tasas fotosintéticas dentro del rango promedio del área, puede considerarse dentro de este estudio como ejemplo de las características de otoño. Sin embargo, esta situación no fue general para todas las estaciones, los resultados encontrados al estimar la proporción de clorófila a feopigmentos mostraron un rango de 1.09 - 1.33, los valores de este rango estarían muy próximos al valor que indica clorófila

rófila degradada. Holm-Hansen et al (1965), hallaron un promedio de 2.3 en superficie y 1.0 en muestras de profundidad, indicando este último un contenido de pura feofitina y otros productos de degradación como efecto del grazing del zooplancton, el cual al ingerir el fitoplancton produce muy rápidamente los feopigmentos. Una situación especial se observó en los niveles de 0 y 10 metros de algunas estaciones, en los cuales la tasa fue más alta (1.60-2.00), indicando en este caso una mayor proporción de clorófila activa.

Considerando el rango de las tasas de crecimiento hallado, es evidente la ocurrencia de un buen crecimiento con un promedio de 0.90; sin embargo, algunas estaciones indistintamente de su ubicación cerca o lejos de la costa, tuvieron tasas muy bajas las que pudieron resultar de la pérdida de células del fitoplancton debido al hundimiento dentro de la columna. Los índices de productividad hallados para la zona eufótica no fueron representativos del área en comparación con los dados por Guillén y Calienes (1981), exceptuando la estación 72 que aparentemente tuvo mejores condiciones y que alcanzó más de 20 mg C/mgClor./día. Guillén (1973) encontró los máximos valores para las áreas de afloramiento Talara-Paita (140) Huacho-Callao (120) y Pisco-San Juan (80) dentro de una capa eufótica de 30m. Los menores índices de 20 mgC/mgCl/día correspondieron a las aguas subtropicales superficiales. Lamentablemente pocos valores de índices de productividad han sido reportados; la información es aún muy escasa para las diferentes estaciones del año y no apropiada para delinear la dinámica de la producción del fitoplancton en base a dichos índices.

La concentración del carbono total particulado (200-700 ugC/l) estuvo dentro del rango reportado por Menzel (1967), de 250 a

1250 $\mu\text{gC/l}$ en la capa de 0-20m para áreas de afloramiento en Perú, pero se encontró que el porcentaje del carbón detrítico (75%) fue mucho mayor que el del fitoplancton vivo. Estos resultados difieren de los de Ryther and Menzel (1965), quienes estimaron que un 60% del carbón particulado sería carbón de fitoplancton vivo dentro de la capa eufótica y un 100% en la superficie para las áreas de afloramiento de Perú, no obstante, tienen relación con lo reportado por Ryther et al (1970), como se verá más adelante.

En general, la bibliografía reporta que la vía más importante para la formación del carbón orgánico particulado en el mar no es directamente el fitoplancton, sino que éste asociado con la producción del carbón disuelto (productos de excreción) por actividad bacteriana, alcanza vía carbón particulado un equilibrio entre las dos formas del carbón. El proceso es reversible ya que el carbón particulado puede también contribuir al nivel del carbón disuelto a través de la descomposición ó procesos de disolución de las partículas. Como generalización, puede señalarse que la cantidad de carbón orgánico particulado detrítico es una gran fracción del total y frecuentemente excede al carbón del fitoplancton vivo por un factor de 10 ó más, excepto en los grandes florecimientos del fitoplancton o "red tide" cuando las concentraciones del fitoplancton vivo son muy grandes en relación al detritus (Barber, 1967).

En la interpretación de los resultados, la explicación sobre la baja producción y biomasa del fitoplancton en el área conocida por su gran producción biológica, se encuentra en el argumento sostenido por Lorenzen (1967-1968), en relación al grazing del zooplancton. Este autor mostró para la zona eufótica una relación lineal entre la tasa de zooplancton a fitoplancton y entre la tasa de feofitina a clorófila, esta última fue también directamente propor-

cional al índice de productividad del plancton, el cual en aguas con poco ó ningún afloramiento debe reflejar el ambiente de nutrientes. Es decir que en áreas con intenso grazing, el plancton crece más activamente debido a los nutrientes como efecto resultante del grazing. Similarmente, en el caso de las áreas de afloramiento, las aguas son ricas en nutrientes, nitratos especialmente, pero el fitoplancton usa preferentemente y con mayor eficiencia el amonio (excreción del zooplancton) como nutriente de más fácil asimilación, así en la capa eufótica, muchas veces la nitrificación o regeneración del nitrógeno no llega a completar su ciclo debido al uso inmediato de los productos iniciales del mismo (Dugdale, 1976). Esto explicaría las tasas de activo crecimiento halladas en nuestra área aún cuando la relativa biomasa del fitoplancton fue baja, y también estaría de acuerdo con las proporciones de feopigmentos a clorófila halladas cuyos valores indican grazing del zooplancton.

Nuestros resultados tienen cierta relación con los de Ryther et al (1970), quienes estudiaron los cambios químicos dentro de la capa eufótica en un período de cinco días en el área alrededor de los 15°S. Ellos encontraron una tasa fotosintética muy alta, 10 gC/m²/día, de la cual aproximadamente la mitad del carbón fue fitoplancton vivo en el primer día y sólo una quinta parte de esta cantidad se observó después de cinco días, los autores señalaron al grazing del zooplancton como factor de control de la proporción de organismos vivos y del detritus.

Al tratar de relacionar la producción del área 06-09°S con los sedimentos superficiales se encontró que en la mayor parte de la plataforma predominan valores de carbón orgánico que representan menos del 2% (porcentaje en un kilo de sedimento seco) y los altos porcentajes mayores de 7% se encontraron en el borde de la plataforma (Delgado y Gomero,

1980). Valores muy similares fueron reportados por Ryther et al (1970), para Pisco y por Henrichs and Farrington (1984), estos últimos dieron un rango entre 0.8 y 10%, al cual se le considera alto para sedimentos en general y característico de áreas de afloramiento.

Según Menzel (1966), las concentraciones de carbón orgánico particulado no tienen influencia sobre los valores de profundidad ya que su distribución en profundidad tiene homogeneidad vertical. Las partículas producidas en una área son oxidadas o solubilizadas dentro de una limitada distancia de la superficie, ésta es determinada por la zona eufótica y por las características hidrográficas que controlan el hundimiento. Al respecto, Hakajima and Nishizawa (1972), reportaron que el decrecimiento exponencial del carbón particulado con la profundidad se debía al grazing del zooplancton y a los procesos de degradación incluyendo la descomposición bacteriana. Por otro lado, las partículas sedimentadas representan productos de fotosíntesis y metabolismo animal biológica y químicamente resistente a la degradación y posiblemente son indicadores de edad cronológica; su concentración dependería de la acumulación a largo plazo.

El flujo de materia orgánica parece ser proporcional a la producción del plancton en la superficie, de ahí que se distinguen marcadamente los sedimentos de afloramiento. En la zona eufótica, los pigmentos son rápidamente descompuestos después de la muerte de los organismos (Yentsch, 1962), y entre los elementos componentes del plancton el fósforo es rápidamente liberado del material muerto, mientras el carbono y nitrógeno son más refractarios a la descomposición. Los niveles de detritus varían considerablemente en el espacio lo cual influye en la tasa de un elemento a otro.

En la deposición de materia orgánica, el zooplancton herbívoro tiene un rol importante en las áreas de afloramiento donde son típicamente grupos de copepodos calanoides, los cuales junto con otros grupos taxonómicos del zooplancton herbívoro contribuyen en gran parte al hundimiento del flujo de carbón orgánico particulado (Eppley and Peterson, 1979). Aproximadamente 20-30% del carbón ingerido del fitoplancton pasa a través de los productos del metabolismo de esos animales y son encapsulados en pequeños paquetes que tienen hundimiento rápido y pueden transportar carbón orgánico a gran profundidad (50-300 m/día). En el Perú se ha capturado fitoplancton intacto, mudas, materia de excreción del zooplancton y anchoveta en muestreos de partículas. La mayor concentración de carbón orgánico localizada al borde de la plataforma puede deberse a los efectos advectivos o flujo de aguas fuera de la costa (transporte Ekman), y al hundimiento de organismos en el borde o rompimiento de la misma. En la capa superficial los procesos de oxidación parecen muy importante a través de la plataforma.

CONCLUSIONES

- La concentración del fitoplancton y su producción por unidad de tiempo y espacio fueron bajas para el área de estudio en otoño.
- Las tres variables estudiadas (clorófila, producción primaria, carbón particulado) guardaron proporcionalidad entre ellas, hallándose las concentraciones más altas cerca de la costa.
- El ambiente físico y las variables químicas aparentemente no fueron limitantes en el período de estudio pero pudieron haber tenido influencia en días anteriores.

- La composición del carbón orgánico, vivo ó detritus depende principalmente del tiempo y del estado resultante de su descomposición.
- Los efectos de advección y el hundimiento alteran la ubicación real de la actividad química y biológica y por lo tanto la distribución de las variables biológicas.
- El rango de clorófila fue de 0.16 a 2.86 ug/l y para la zona eufótica de 8.0 a 25.0 mg/m².
- La producción primaria varió entre 1.20 y 303 mgC/m³/dfa en la superficie y en la zona eufótica el rango fue de 0.30 a 2.23 gC/m²/dfa.
- La concentración de carbón orgánico particulado fluctuó entre 170 y 700 ugC/l en la capa de 0-35m.
- El estimado del porcentaje de carbón orgánico del fitoplancton vivo fue mucho menor que del material detritico (80%).
- La proporción de clorófila a feopigmentos fue de 1.13-1.30 lo cual indicaría presencia de clorófila degradada (50% ó más de la clorófila puede ser forma inactiva).
- Las tasas de crecimiento indicaron un activo crecimiento, no obstante la baja biomasa de fitoplancton.
- El crecimiento activo o rápida recuperación del fitoplancton estaría dado por los nutrientes liberados por el zooplancton durante el grazing.
- La mayor cantidad de carbón orgánico en los sedimentos superficiales localizada en el borde de la plataforma (7%) estaría influenciada por los procesos advectivos, el flujo fuera de la costa que conduce al hundimiento y a la acumulación de organismos en la zona de rompimiento de la plataforma.

- La sedimentación orgánica a través de la plataforma es menor (: 2%), la cual aparentemente no representa una gran fracción de la producción de la capa superficial y posiblemente se debe a una mayor oxidación del material orgánico debajo de la zona eufótica.

REFERENCIAS

- Antia, N., C. MacAllister, T. Parsons, K. Stephens and J. Strickland. 1963. Further Measurements of Primary Production using a large volume plastic sphere. *Limnol. Oceanogr.* (2): 166-183.
- Barber, R. 1967. The distribution of dissolved organic carbon in the Peru current system of the Pacific Ocean. Ph. D. Thesis. Stanford University.
- Beers, J., M. Stevenson, R. Eppley and E. Brooks 1971. Plankton populations and upwelling off the coast of Peru, June 1969. *Science* 173 (4): 859-876.
- Eppley, R. and R. Parson. 1971. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature*, 232-667-680
- Guillén, O. 1973. Carbón chlorophyll relationship in Peruvian Coastal waters. *Oceanography of the South Pacific 1971*, comp. R. Fraser, New Zealand National Commission for UNESCO, Wellington.
- Henrichs, S., and J. Farrington. 1984. Peru upwelling region sediments near 15°S: Remineralization and accumulation of organic matter 29(1): 1-19.
- Lorenzen, C. 1968. Carbón/Chlorophyll relationship in upwelling area. *Limnol Oceanogr.* 13(1) pp: 202-204
- Menzel D. and J. Ryther. 1964. The composition of organic matter in the western north Atlantic. *Limnol. Oceanogr.* 9 (2): 179-186.

- Menzel, D. 1967. Particulate organic carbon in the deep sea. *Deep-Sea Res.* 14: 229-238.
- Menzel, D. 1975. Primary productivity, dissolved and particulate organic matter, and the sites for oxidation of organic matter. In: *The Sea*. E. Golberg (Ed.). 5: 659-678.
- Parsons, T. 1975. Particulate organic carbon in the sea. In: *Chemical Oceanography*. J.P. Riley and G. Skirrow (Eds.). 2: 365-382.
- Pocklington R. 1981. Organic matter in upwelling off Northern Peru, November 1977. *Bol. Inst. Mar Peru/ICAN* Vol. Extraordinario: 7-14
- Parsons, T. and M. Takahashi. 1973. *Biological Oceanographic Process*. Pergamon Press
- Sharp, J. 1972. The formation of particulate organic matter in seawater. Ph. D. Thesis, Dalhousie University.
- Sharp, J. 1973. Size classes of organic carbon in seawater. *Limnol. Oceanogr.* 18(3): 441-447.
- Sharp J. 1973 b. Total organic carbon in seawater. Comparison of measurements using persulfate oxidation and high temperature combustion. *Mar. Chem.* 1: 211-229
- Sharp, J. 1974. Improved analysis for "particulate" organic carbon and nitrogen from seawater. *Limnol. Oceanogr.* 19 (6) : 984-989.
- Sumich, J. 1982. Primary Production in the Sea. In: *Biology of Marine Life*. Wm. C. Brown Company Publishers. Iowa pp. 181-208.
- Strickland, J. 1972. Research on the marine plankton food web at the Institute of Marine Resources: A review of the past seven years of work. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 10: 349-414

- Wangersky, P. 1974. Particulate organic carbon: Sampling variability. *Limnol. Oceanogr.* 19 (6): 980-984
- Williams, P. 1969. The distribution and cycling of organic matter in the ocean. Progress Report July 1969-June 1970. Institute of Marine Resources. Part. II. Vol. 2 Chemistry and Phytoplankton. C. 3. University of California.

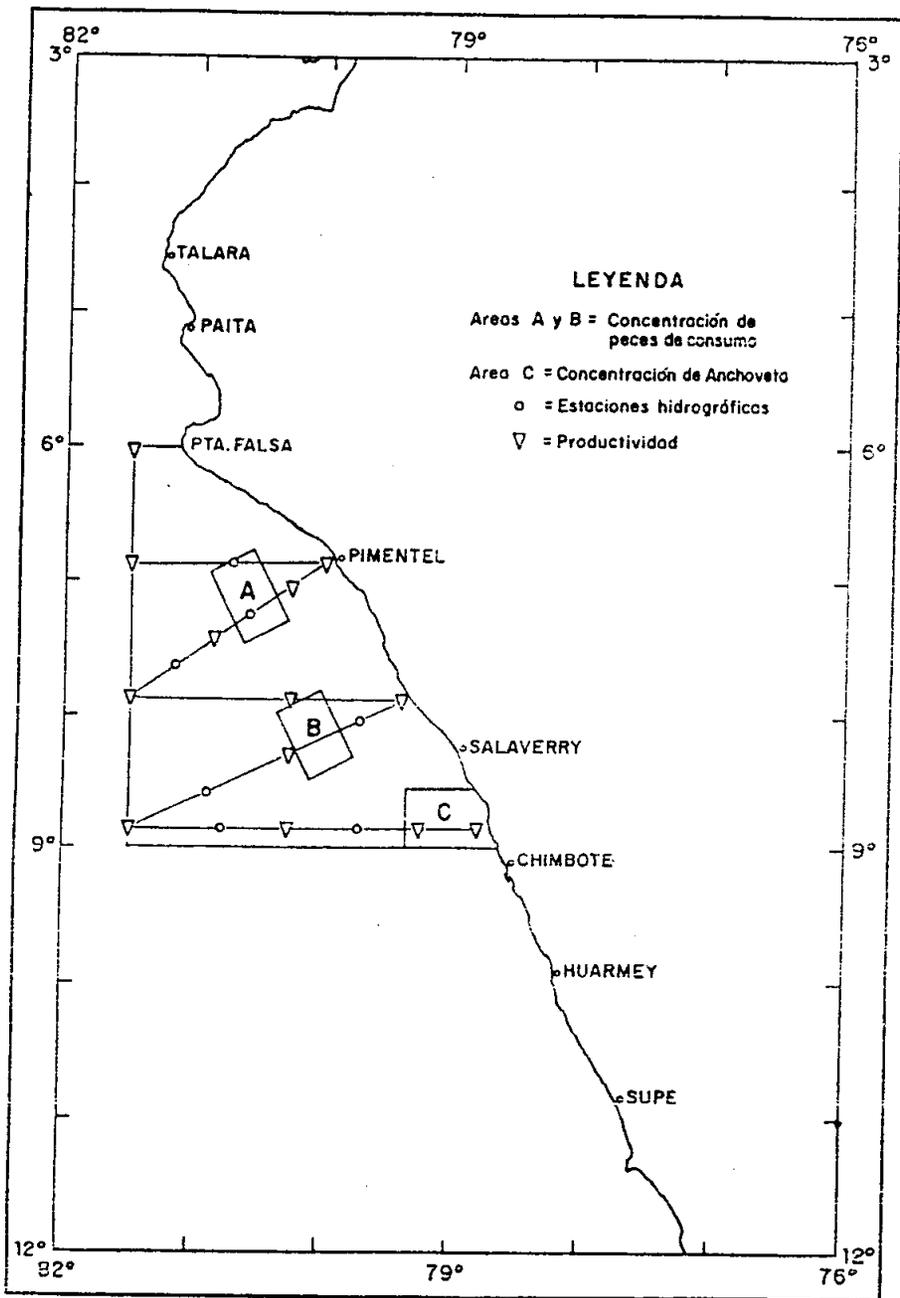


Fig. 1.- Proyecto de Cruceros de Productividad, OEA/IMARPE.

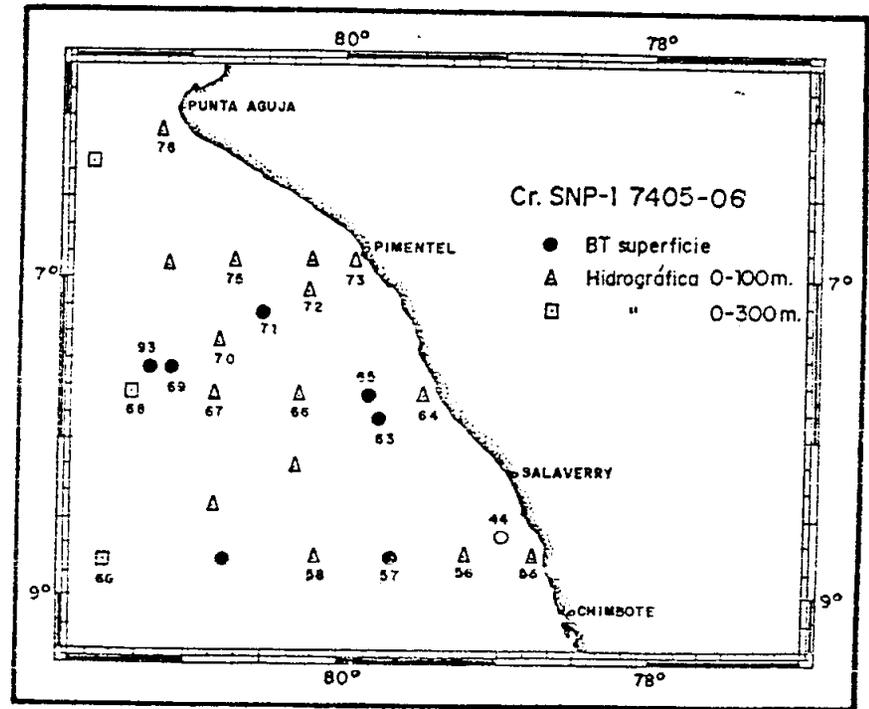


Fig. 2.- Carta de posición de las estaciones del Cr. SNP-1 7405-06.

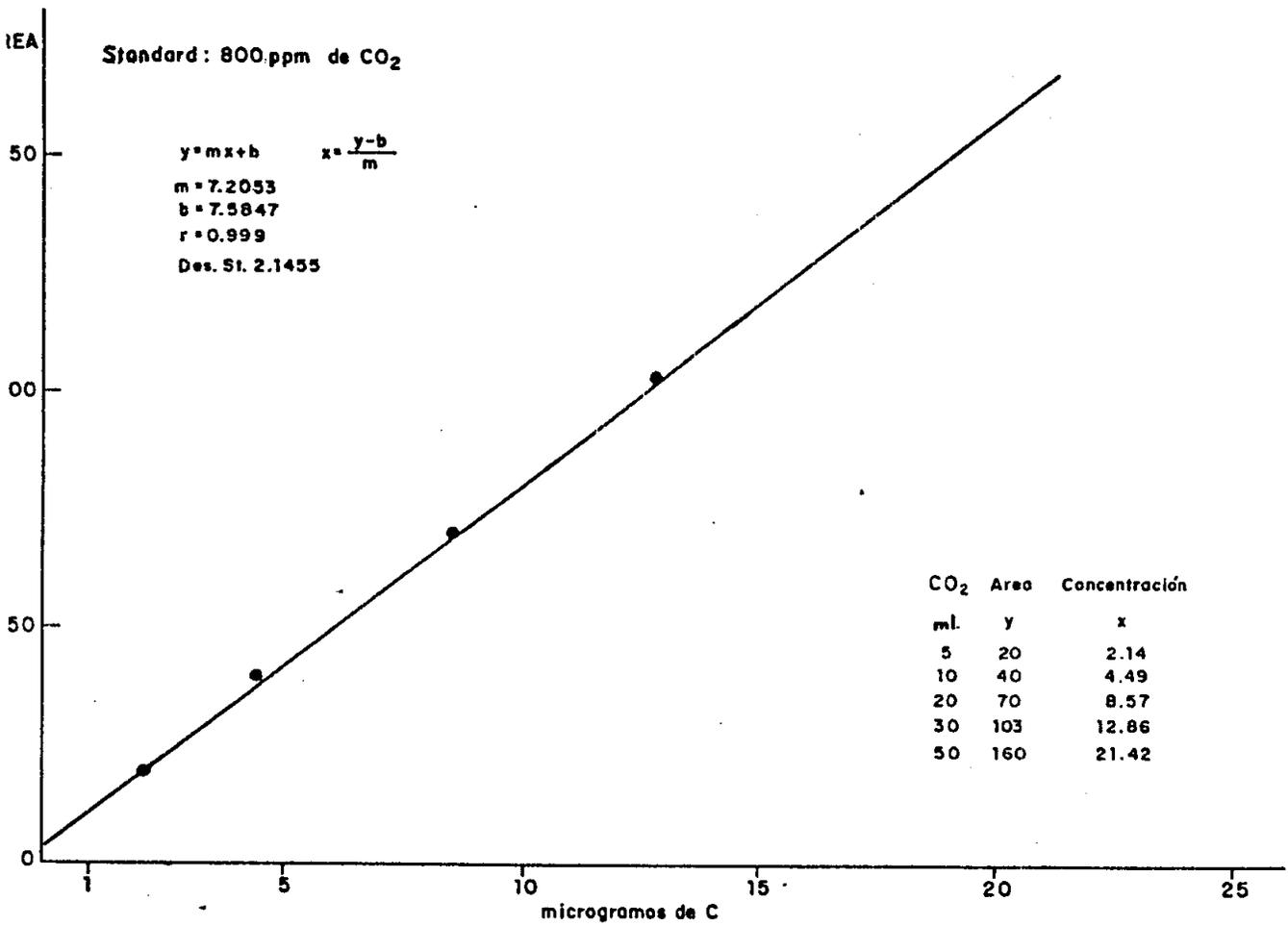


Fig. 3.- Respuesta del analizador infrarojo a diferentes concentraciones de CO₂.

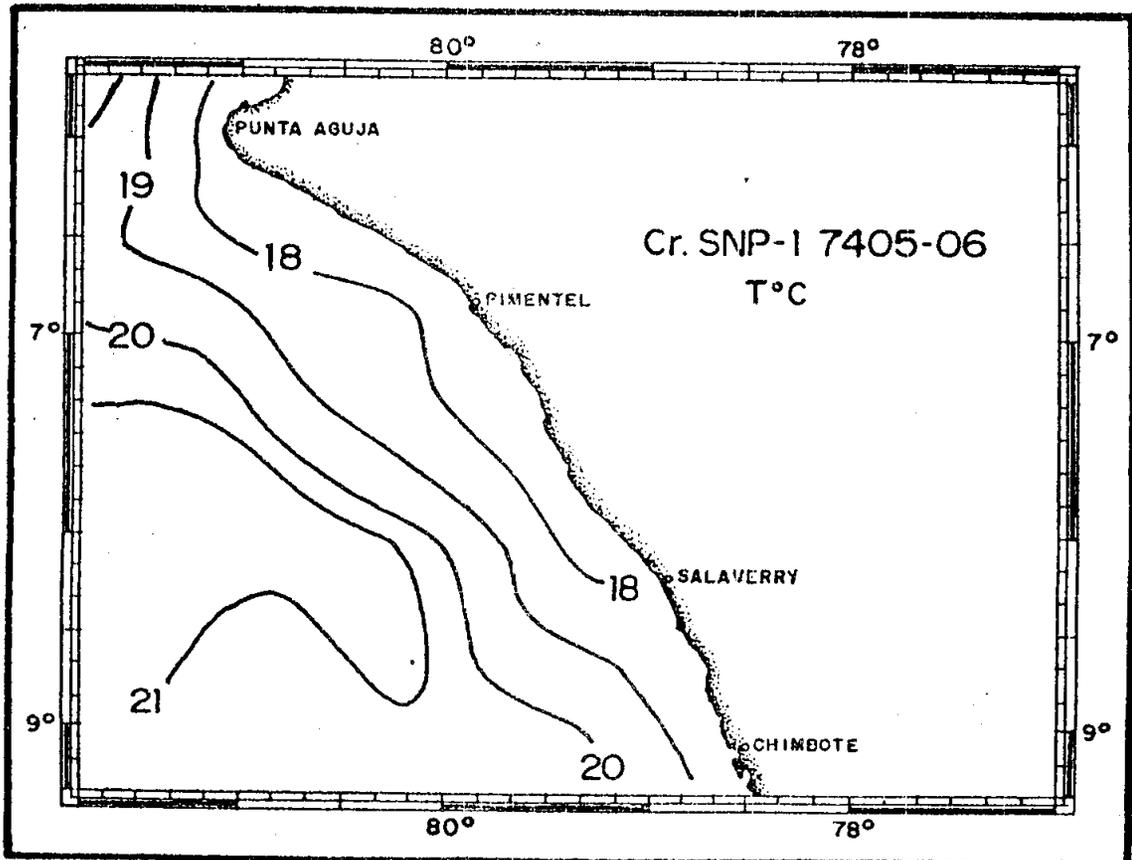


Fig.4.-Distribución de la temperatura en la superficie del mar.

Cr. SNP-1 7405-06

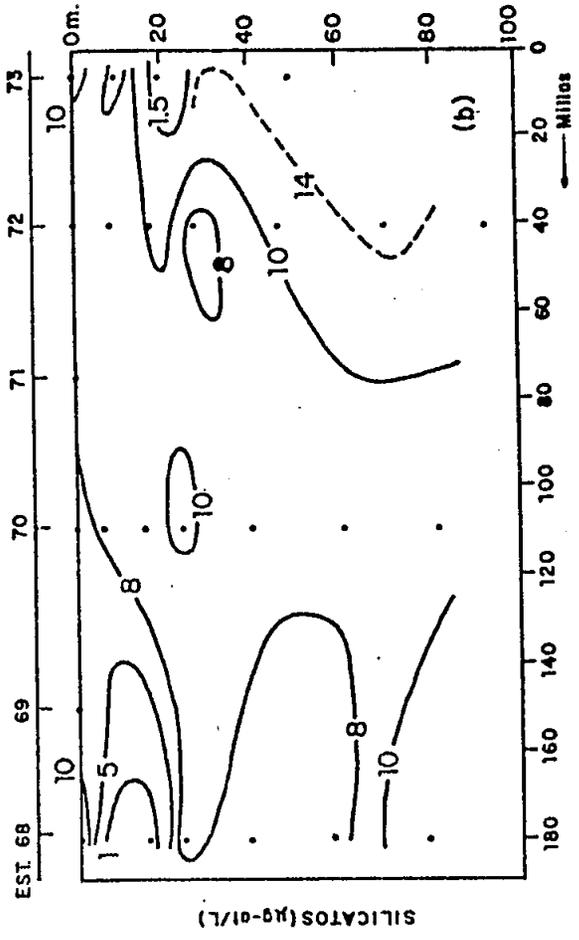
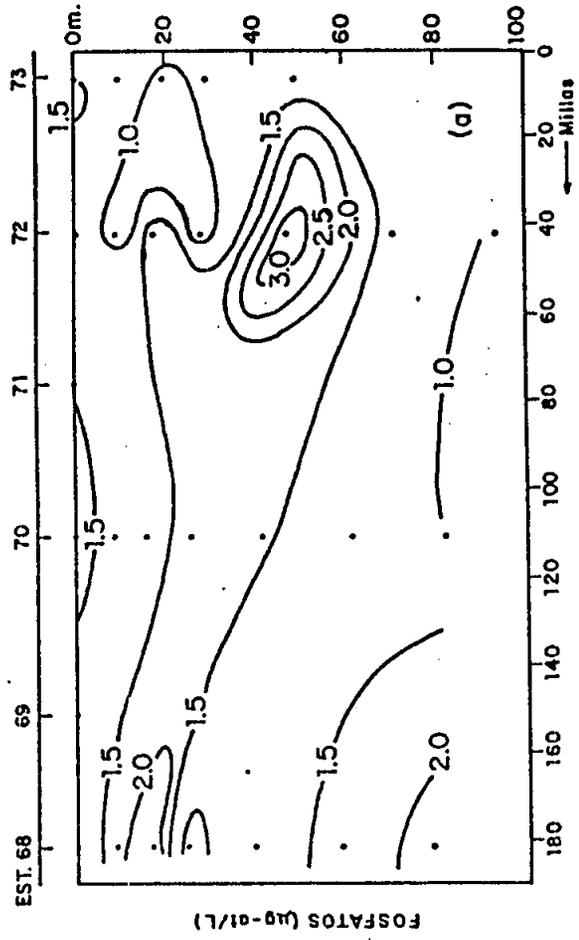


Fig.6.-Distribución vertical de Fosfatos y Silicatos frente a Pimentel.

Cr. SNP-1 7405-06

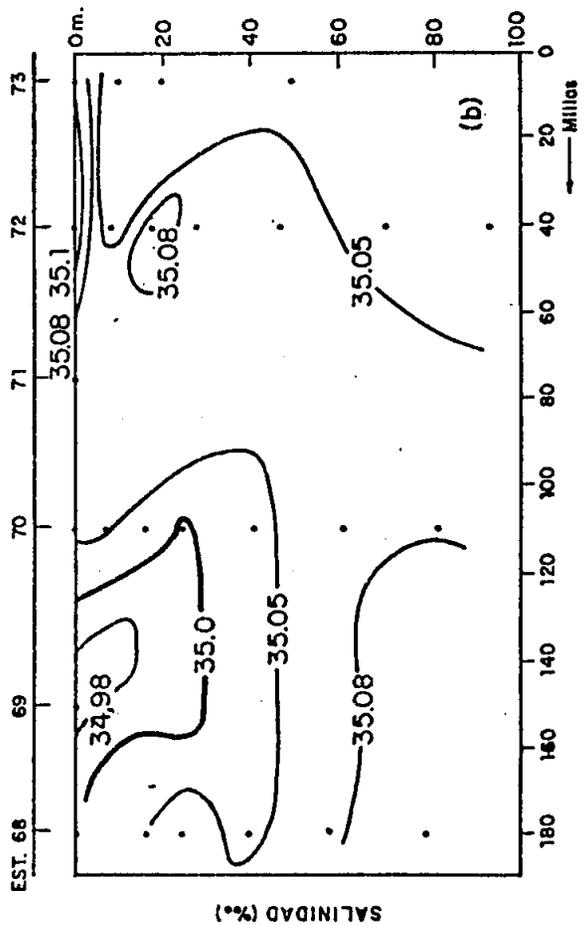
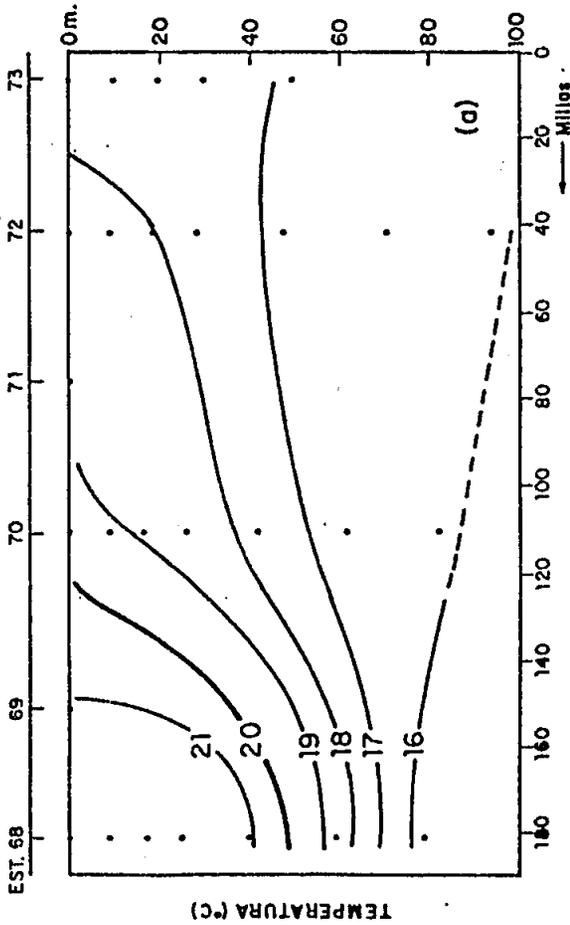


Fig.5.-Distribución vertical de Temperatura y Salinidad frente a Pimentel.

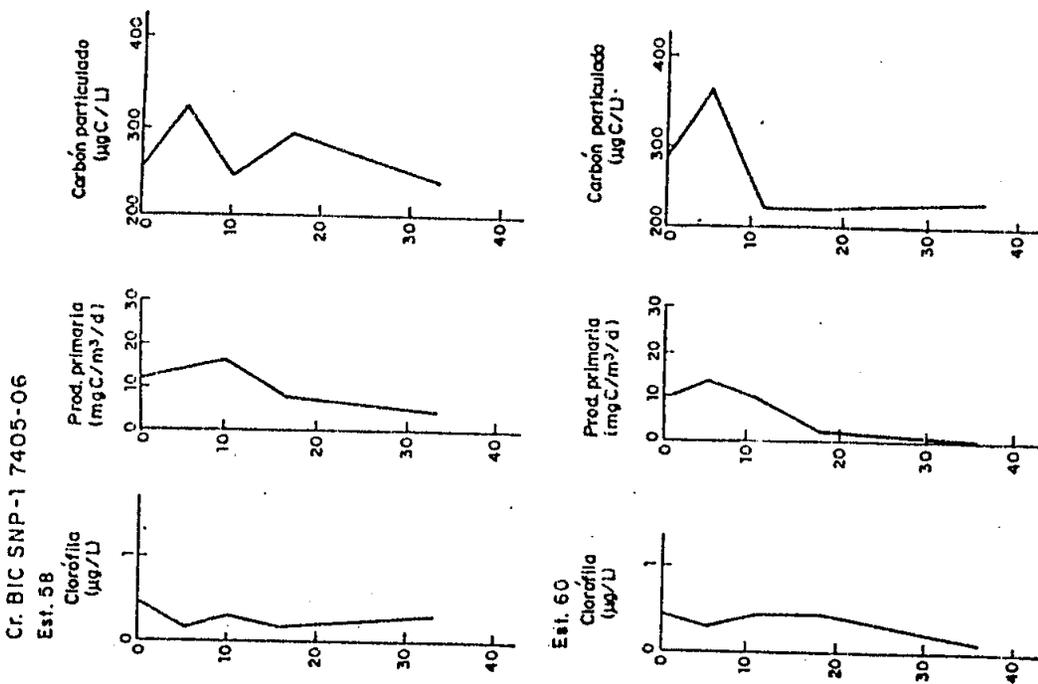


Fig. 7.-Clorófila, Producción Primaria y Carbono Orgánico Particulado frente a Chimbote (9°S.)

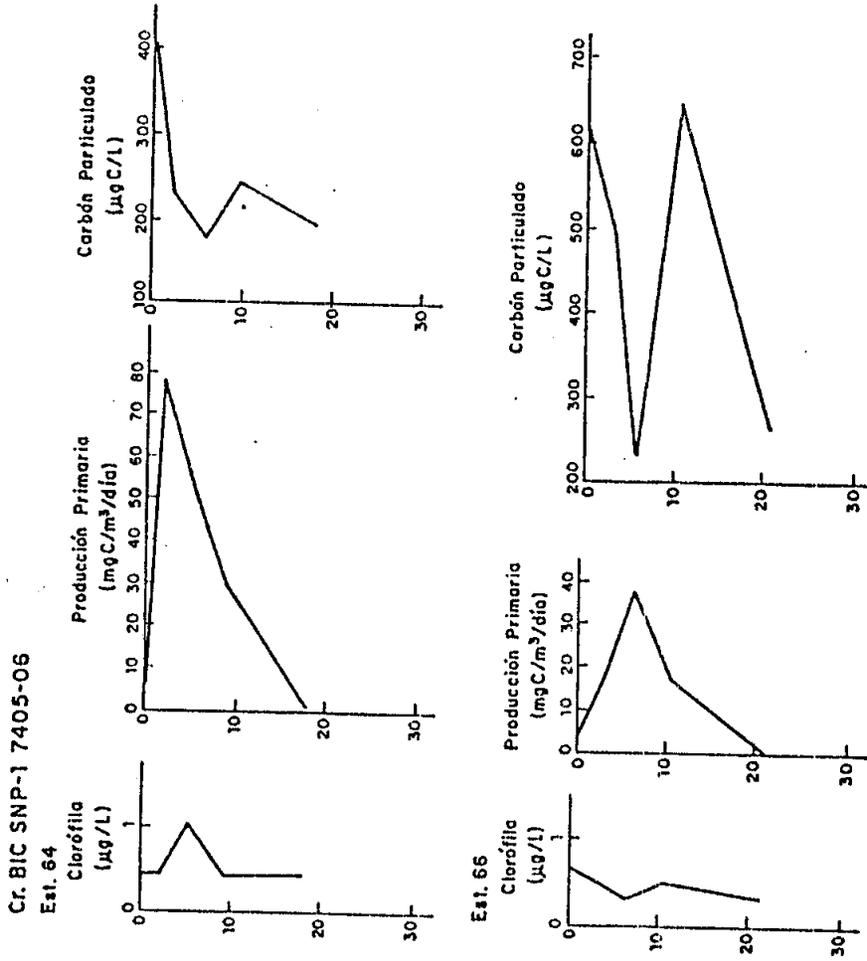
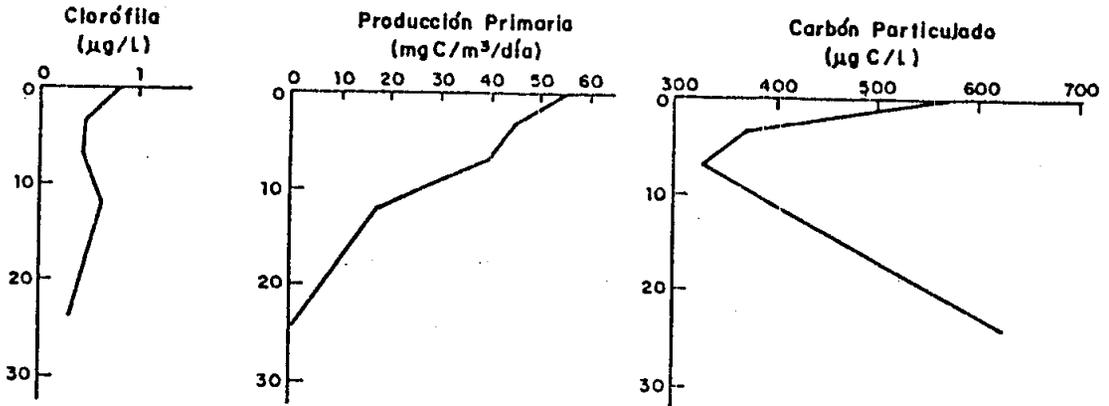


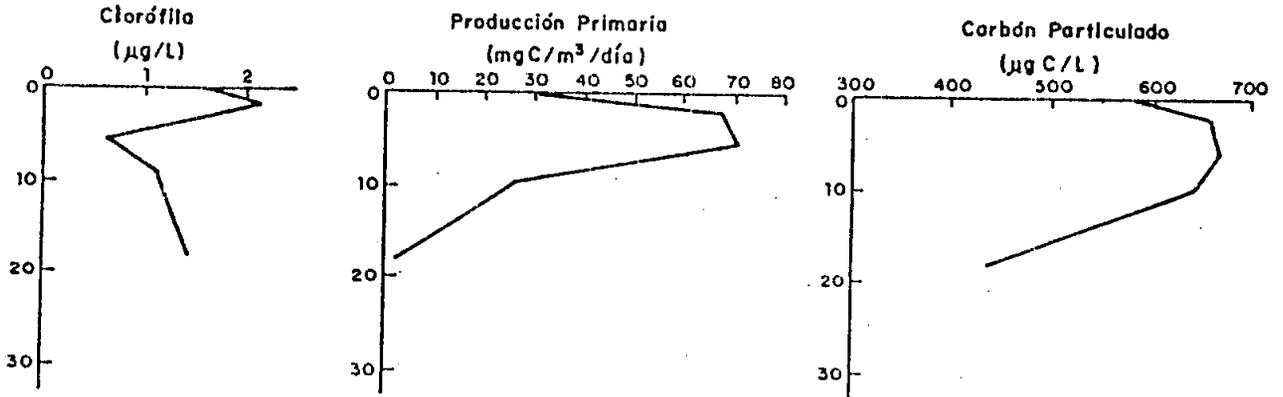
Fig. 8.-Clorófila, Producción Primaria y Carbono Orgánico Particulado en Chicama (7°40'S.)

Cr. BIC SNP-1 7405-06

Est. 70



Est. 72



Est. 73

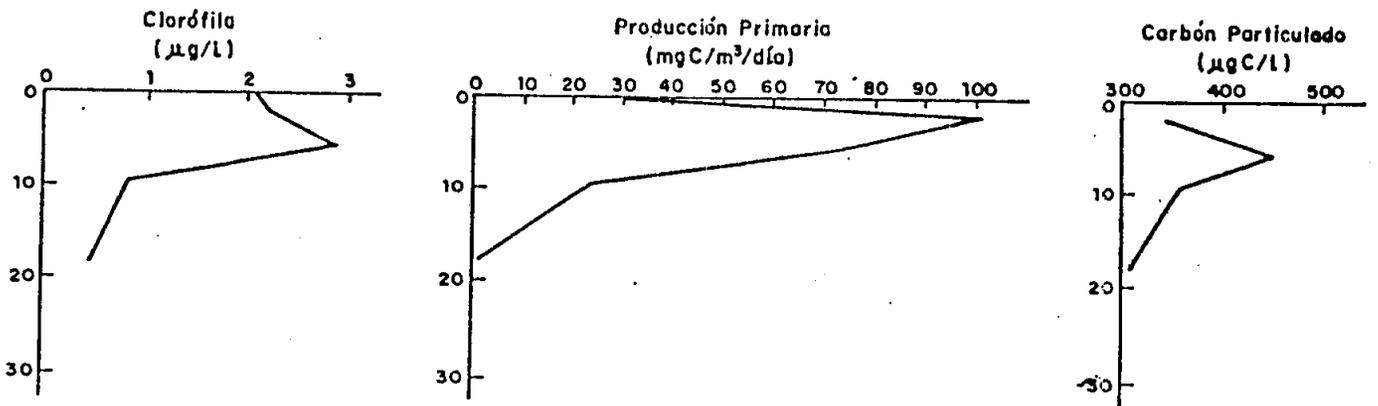


Fig.9 - Clorófila, Producción Primaria y Carbono Orgánico Particulado en Pimentel. (7° S.)

ANEXO A

RELACION DE TRABAJOS ELABORADOS COMO PARTE DE LOS PROYECTOS OEA-IMARPE CORRESPONDIENTES AL PERIODO 1971-1985

1. Publicaciones del IMARPE

- 1.1 GUILLEN, O. y R. DE RONDAN. 1974. Medio Ambiente y Producción primaria, 1971-72. Inf. Esp. Inst. Mar Perú, IM-148
- 1.2 SANTANDER, H. 1974. Cosecha estable del zooplankton, 1971-72. Inf. Esp. Inst. Mar Perú IM-148
- 1.3 GUILLEN, O., R. CALIENES Y R. DE RONDAN. 1977. Medio Ambiente y Producción Primaria frente al área Pimentel-Chimbote, 1972-1973. Bol. Inst. Mar Perú, Vol. 3(4)
- 1.4 GUILLEN, O. y R. AQUINO. 1977. Análisis químicos del agua de mar por instrumentación. Inf. Esp. Inst. Mar Perú, S/N. Proyecto OEA/IMARPE.
- 1.5 GUILLEN, O., A. AQUINO, B. VALDIVIA Y R. CALIENES 1978. Contaminación en el Puerto del Callao. Inf. Inst. Mar Perú N°62
- 1.6 GUILLEN, O. Y R. CALIENES 1981. Afloramiento y productividad frente a las aguas costeras peruanas. Bol. Inst. Mar; Perú Vol. Extraordinario-ICANE.
- 1.7 CALIENES R., O. GUILLEN Y N. LOSTAUNAU. 1985. Variabilidad espacio-temporal de clorófila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Bol. Inst. Mar-Perú, Vol. 10 (1).

2. Publicaciones en prensa en revistas nacionales

- 2.1 GUILLEN, O. y B. DE MENDIOLA. Productividad de la Corriente

Peruana. I Seminario Nacional de Sistemas Ecológicos y Medio Ambiente, ONERN.

3. Publicaciones en el exterior

- 3.1 GUILLEN, O. AND R. CALIENES. 1980. Biological Productivity and "El Niño". In: Resources Management Environmental Uncertainty, M. Glantz (Ed), John Wiley and Sons, Inc., 255-282
- 3.2 GUILLEN, O. AND R. CALIENES. 1981. Upwelling off Chimbote. In: Coastal Upwelling. Coastal and Estuarine Sciences, F. Richards (Ed.) American Geophysical Union, Was., D.C., 312-326
- 3.3 HARRISON, W., T. PLATT, R. CALIENES AND N. OCHOA. 1981. Photosynthetic Parameters and Primary Production of Phytoplankton Populations off the Northern Coast of Peru In: Coastal Upwelling, Coastal and Estuarine Sciences. F. Richards (Ed). American Geophysical Union, Was. D.C., 303-311

4. Informes Internos y a la OEA

- 4.1 AQUINO, R. 1977. Determinación de trazas de metales. Primer Curso Internacional de Capacitación en Producción Primaria. Proyecto OEA/IMARPE "Productividad de las Aguas Costeras frente al Perú". Lima.
- 4.2 CALIENES, R. 1977. Métodos de Producción Primaria. Primer Curso Internacional de Capacitación en Producción Primaria. Proyecto OEA-IMARPE "Productividad de las Aguas Costeras frente al Perú". Lima.
- 4.3 GUILLEN, O. 1977. Modelos de Producción Primaria. Primer Curso Internacional de Capacitación en Producción Primaria. Proyecto OEA-IMARPE "Productividad de las Aguas Costeras frente al Perú". Lima.

- 4.4 CHOW, T. 1981. Contaminación por metales pesados. Curso de Contaminación Marina. Proyecto OEA-IMARPE. Preservación del Ambiente Marino y Producción Primaria. Lima. Lima.
- 4.5 JORDAN, R. 1981. Aspectos ecológicos de la Contaminación y de los Recursos. Curso de Contaminación Marina. Proyecto OEA/IMARPE. "Preservación del Ambiente Marino y Producción Primaria" . Lima
- 4.6 RONDAN, R. de 1981. Guía de Prácticas de Análisis de agua de mar. Curso de Contaminación Marina. Proyecto OEA/IMARPE. "Preservación del Ambiente Marino y Producción Primaria". Lima.
- 4.7 ZIRINO, A. 1981. Modelo de dependencia del pH para el Cobre. Curso de Contaminación Marina. Proyecto OEA/IMARPE. "Preservación del Ambiente Marino y Producción Primaria". Lima.
- 4.8 CALIENES, R. 1986. Productividad biológica entre los 06°-18°S durante 1977 - La ocurrencia de *Mesodinium rubrum*.