Mdc. 51630

1

M
B744e
1990

UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE QUIMICA Y FARMACIA

M
B744e
1990

EVALUACION DE LA BAHIA DE QUINTERO
CON INDICADORES DE CALIDAD AMBIENTAL

BIBLIOT...

1 - Contaminación [illegible]
2 - Contaminación química [illegible]
3 - Hidrocarburos aromáticos
4 - Salud ambiental

DIRECTOR DE TESIS
LIC. SR. LUIS LOPEZ G.

TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE QUIMICO FARMACEUTICO

BERTA GLORIA BOSQUE CARDEMIL
MONICA ZAMORA ESPINOZA

1990

INSTITUTO DE OCEANOLOGIA
BIBLIOTECA
5281
Universidad de Valpso.

A G R A D E C I M I E N T O S

Nuestros más profundos y cariñosos agradecimientos a todas y cada una de las personas que nos brindaron su apoyo y afecto, durante el transcurso de esta tesis.

Por acogernos, guiarnos, alentarnos y aconsejarnos; siendo ella más allá de lo que significa por si misma, una vivencia muy especial.

Al Licenciado Sr. Luis López G., profesor guía de esta tesis, por su destacada dirección, constante preocupación y ayuda en todo momento, en especial por su paciencia y amistad.

Al Licenciado Sr. Fernando Alcázar G., por su preocupación, apoyo, gran simpatía y calidez en todo momento.

Al Dr. Sr. Héctor Andrade V., por su valioso aporte, colaboración y continua preocupación en el desarrollo de este estudio.

Al Dr. Sr. Roberto Prado F., por su ayuda, preocupación y tiempo destinado al desarrollo de nuestro trabajo.

Al Profesor Sr. Oscar Díaz S., Mg. en Sc., por su importante intervención para el desarrollo de esta tesis.

Al Profesor Sr. Bernardo Malet R., Mg. en Fis., por su desinteresada preocupación, atención y gentileza para con nosotras.

Al Sr. Juan Avila A., por su permanente apoyo, asistencia técnica en el desarrollo de este trabajo y por su gran amistad.

Al Analista de Sistemas Computacionales Sr. Patricio Rivera D., por su asistencia y asesoría técnica, así como hacer de esta tesis algo muy particular.

Finalmente, agradecemos al Instituto de Oceanología y principalmente al Sr. Hellmuth Sievers C. Mg. en Sc., por su especial acogida, como a todos aquellos que hicieron posible de una u otra forma que esta tesis llegara a su término.

A nuestros padres,
abuelos, hermanas
y amigos.

A Xaviera Francisca
y David Andrés

El amor es el mejor regalo que podemos dar
y el mejor premio que podemos recibir.

Betty y Mónica

R E S U M E N

Los niveles de hidrocarburos aromáticos derivados del Petróleo y de algunos metales traza (plomo, cobre, cadmio, mercurio y arsénico) fueron cuantificados en muestras de agua de mar, organismos y sedimentos marinos de la bahía de Quintero (Lat. 32º45' S; Long. 71º30'O) entre mayo y noviembre de 1989.

La determinación cuantitativa de hidrocarburos aromáticos totales se efectuó por espectrofluorimetría tras extracción con solvente. La determinación de los metales traza se realizó por espectrofotometría de absorción atómica con llama luego de una digestión ácida, excepto en el caso de arsénico, que fue determinado por fotocolorimetría.

El rango de concentración para los hidrocarburos aromáticos fue entre 0.262 y 126 ug dm^{-3} en el agua de mar, 1.59 y 180 mg kg^{-1} en organismos y 0.116 y 1.27 mg kg^{-1} en sedimentos. Los niveles de concentración para hidrocarburos aromáticos en agua de mar fueron más altos que aquellos encontrados en la literatura, mientras que los valores para sedimentos son generalmente más bajos.

Para los metales, plomo, cobre y cadmio que son bioacumulados en organismos, el rango de concentración fue entre 5 y 59.2 mg kg^{-1} para plomo; 3.99 y 192 mg kg^{-1} para cobre y entre 0.328 y 7.25 mg kg^{-1} para cadmio. Los metales en sedimentos fueron más bajos; 1.34 y 18.2 mg kg^{-1} para plomo, 0.000 y 36.6 para cobre y por último 0.000 y 1.18 mg kg^{-1} para cadmio.

Por el contrario, mercurio es más alto en sedimentos en comparación a organismos, los valores fluctuaron entre 0.274 y 56.6 mg kg^{-1} en sedimentos contra 0.334 y 9.33 mg kg^{-1} en organismos. El arsénico es encontrado en concentraciones similares en ambos tipos de muestras.

Finalmente, en el análisis comparativo de los datos obtenidos en este estudio con los valores reportados en otras publicaciones para la costa chilena muestran que para plomo, cobre, mercurio y arsénico en organismos son altos mientras que para cadmio son generalmente bajos. En cambio, los valores de concentración en sedimentos para plomo, cobre, cadmio y arsénico son bajos en comparación a los publicados en la literatura, mientras que el mercurio es el único metal que muestra altos valores.

SUMMARY

Levels of Petroleum derived aromatic Hydrocarbons and selected trace metals (Pb, Cu, Cd, Hg and As) were cuantified in samples of sea waters, organisms and sediments from Quintero Bay (Lat. 32º45' S; Long. 71º30'O) betwen May and November 1989.

The quantitative determination of total aromatic hydrocarbons was done by spectrofluorometry after solvent extraction. Trace metal determination was done by flame atomic absortion spectrophotometry after acid digestion, except in the case of arsenic, which was determined by photocolorimetry.

Aromatic Hydrocarbons ranged between 0.262 and 162 ug dm^{-3} in sea water, 1.59 and 180 mg kg^{-1} in organisms and 0.116 and 1.27 mg kg^{-1} in sediments.

Concentrations levels for aromatic Hydrocarbons in sea water are higher than those found in the literature, while values for sediments are generally lower.

As for the metals, Pb, Cu, and Cd are bioacumulated in organisms were values ranged between 5 and 59.2 mg kg^{-1} for Pb; 3.29 and 1.92 mg kg^{-1} for Cu and 0.328 and 7.25 mg kg^{-1} for Cd. Metals in sediments were lower; 1.34 and 18.2 mg kg^{-1} for Pb, 0.000 and 36.6 for Cu and 0.000 and 1.18 mg kg^{-1} for Cd.

By contrast, Hg is higher in sediments as compared to organisms. Values fluctuated between 0.274 and 56.6 mg kg^{-1} against 0.334 and 9.33 mg kg^{-1} in organisms. Arsenic is found in similar concentrations in both

types of samples.

Finally, the comparative analysis of the data obtained in this study with values reported in other papers for the Chilean Coast show that those for Pb, Cu, and As in organisms are high while for Cd are generally low. In contrast, concentrations values in sediments for Pb, Cu, Cd and As show lower values than those reported in the literature, while is the only metal that shows higher values.

I N D I C E

PAGINA

1. INTRODUCCION

1.1 Hidrocarburos de petróleo 3

1.2 Metales pesados y Arsénico 16

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general 30

2.2 Objetivos específicos 30

2.3 Hipótesis 31

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Descripción de las muestras 32

3.2 Obtención de las muestras 34

3.3 Equipos y materiales 37

3.4 Reactivos 39

3.5 Tratamiento de muestras y lecturas Espectrofotométricas 40

3.6 Configuración Computacional 47

4. RESULTADOS

4.1 Hidrocarburos aromáticos derivados del petróleo 48

4.2 Metales 53

5. DISCUSION

5.1 Hidrocarburos 65

5.2 Metales 67

6. CONCLUSIONES

Conclusiones 80

7. BIBLIOGRAFIA

Bibliografía 82

8. ANEXO

Anexo 92

1. INTRODUCCION

INTRODUCCION

La preocupación por estudiar y evaluar los efectos de las actividades humanas en áreas costeras surge de la observación de una serie de hechos de consideración, tales como el incremento de derrames de petróleo en las principales rutas de transporte y las altas concentraciones de metales tóxicos en peces y organismos marinos. Es así que el continuo tráfico marítimo en la bahía de Quintero lleva consigo una alta probabilidad de derrames de hidrocarburos, sumado a esto existen otras fuentes productoras de elementos contaminantes en dicha zona costera, como la generación eléctrica a carbón, la existencia de una planta pesquera, la refinación electrolítica de cobre, plata y oro; como consecuencia de estas actividades se produce la eliminación de residuos de plantas desmineralizadoras, aguas de refrigeración y cenizas, entre otras. Además de estas fuentes, cobra importancia el vertimiento de aguas servidas de origen urbano directamente al mar, sin ningún tipo de tratamiento.

La gran diversidad de otras actividades que se desarrollan en la bahía de Quintero y sus alrededores, tales como la explotación artesanal de recursos marinos y el cultivo de algunos organismos filtradores (ostras y ostiones), junto a las propiedades de la bahía semiprotegida, constituyen una situación riesgosa con el consecuente deterioro de la calidad ambiental.

La bahía de Quintero, como tantas otras bahías del territorio nacional, tiene forma de herradura y se encuentra expuesta a la acción del viento y del oleaje del Norte y Noroeste. Esta bahía se haya limitada en el sector sur por el maciso rocoso de la Península de Los

Molles, que la protege de los vientos del Sur y Suroeste, predominantes durante la mayor parte del año y por la punta de Ventanas en el sector norte que la protege del viento norte (1).

En ambas penínsulas rocosas la línea de costa es abrupta y con numerosos rompientes debido a la presencia de bajos rocosos. Entre ambas penínsulas se extiende una playa conocida como La Herradura, de aproximadamente 7.9 Km. de longitud, constituída principalmente por arenas, y de aguas en general tranquilas o con oleajes originados del Sur y del Suroeste (1).

El fondo de la bahía se deprime lentamente hacia mar afuera, de modo que a 200-300 metros de la línea de costa la profundidad alcanza entre 5 y 6 metros frente a la playa; mientras que a 800-1000 metros, la profundidad es de 16 a 18 metros. Frente a la zona de acantilados de ambas penínsulas las profundidades del fondo marino se incrementan rápidamente. En el centro de la bahía las profundidades pueden superar los 50 metros (1).

La Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS (1988) ha considerado a la bahía como un área crítica, siendo por ello el propósito de este estudio conocer el contenido de ciertos parámetros químicos y su distribución en un área delimitada; estudio que es parte del proyecto 0315 aprobado por FONDECYT en 1989, el cual presenta en un contexto espacio temporal un enfoque más integrador, titulado "Caracterización espacio-temporal de las condiciones oceanográficas en relación a indicadores de la calidad de la bahía de Quintero".

A continuación se hace referencia a los parámetros químicos analizados en este estudio, para un mayor entendimiento de la finalidad del mismo.

1.1 Hidrocarburos de Petróleo.

La dispersión de hidrocarburos de petróleo en el sistema oceánico se manifiesta en muchas molestias visibles: el ensuciamiento de las playas, el recubrimiento de las aguas superficiales con películas y conglomerados de alquitrán y la presencia de aves muertas o moribundas (2).

En el océano existen tres fuentes principales de hidrocarburos de petróleo: las sustancias producidas por el hombre, los hidrocarburos producidos por los organismos marinos y los hidrocarburos infiltrados de un modo natural desde el fondo del mar (2).

El petróleo crudo, del que se refinan los productos petrolíferos, es una mezcla compleja de compuestos donde la mayor parte corresponde a hidrocarburos alifáticos y aromáticos. Existe una serie de compuestos que contienen oxígeno, nitrógeno y azufre. Los hidrocarburos pueden dividirse en tres clases (2):

- Los Alcanos, que se extienden desde el metano y etano hasta compuestos de sesenta átomos de carbono o más, como el n-hexacontano. Pueden ser de cadena recta o ramificadas, siendo los del primer tipo los más abundantes.

- Los Cicloalcanos (Naftenos), formados por anillos de cinco o seis átomos de carbono, tales como los compuestos monocíclicos ciclopentano, ciclohexano y algunos compuetos policíclicos. Son frecuentes las sustituciones alquílicas en los anillos.

- Los Compuestos Aromáticos, que se encuentran en pequeña cantidad e incluyen el benceno y los alquilbencenos, como el tolueno y los xilenos. Además, existen compuestos aromáticos polinucleares en las fracciones de alto punto de ebullición, los que pueden dividirse en compuestos de anillos soldados, como los alquilnaftalenos y los

compuestos de anillos ligados, como los bifenilos, siendo los primeros más abundantes. También se incluyen en esta clase los compuestos aromáticos nafténicos, cuyas moléculas están formadas en parte por un compuesto aromático y en parte por un cicloalcano.

Productos refinados del Petróleo.

La destilación del petróleo crudo produce gran diversidad de productos refinados que se han clasificado de la siguiente forma (2):

- Petróleo de primera destilación, que hierve hasta 200ºC y contiene compuestos de cuatro a doce átomos de carbono.

- Petróleo de segunda destilación, que hierve entre 185º y 345º C, el que contiene compuestos de doce a veinte átomos de carbono. Pertenecen a este grupo productos tales como el keroseno, los aceites para calefacción, los aceites para motores diesel y los combustibles para cohetes, turbinas de chorro y turbinas de gas.

- El Gasoil, que hierve entre 345º y 540º C, contiene compuestos de veintinueve a treintaiseis átomos de carbono. Pertenecen a este grupo las ceras, los aceites lubricantes y los aceites de partida para la producción de gasolina por pirólisis catalítica.

- Los aceites residuales, por lo común de naturaleza asfáltica.

Fuentes de Hidrocarburos en el mar

En el mar se encuentran hidrocarburos de origen mineral y biogénicos. Estos últimos son sintetizados tanto por organismos marinos como terrestres, siendo liberados ya sea como producto metabólico o de descomposición post morten. Los hidrocarburos de origen mineral provienen de filtraciones submarinas y costeras, desgaste de suelos o bien de sedimentos antiguos transportados por el aire o los ríos, de

incendios forestales y en menor medida, de la diagénesis temprana de la materia orgánica en el ambiente marino. El petróleo liberado por la actividad del hombre constituye otra gran fuente de ingreso (3).

En la detección de los hidrocarburos de petróleo en muestras marinas es importante la distinción entre hidrocarburos producidos por la actividad del hombre y los de fuentes naturales biogénicas. Así, en los organismos marinos se encuentran hidrocarburos que pueden haber sido sintetizados por aquellos o ingeridos con el alimento y alterados después de su ingesta. Los organismos marinos sintetizan alcanos principalmente en número impar de átomos de carbono, y con frecuencia predominan uno o dos compuestos; también se encuentran alcanos ramificados (3).

En la biósfera hay representantes de los alquenos (olefinas), pero no en petróleo crudo.

Características útiles de los Hidrocarburos de Petróleo para detectar su presencia.

Se pueden señalar algunas orientaciones para diferenciar el petróleo de los hidrocarburos biogénicos (2,3), aunque las siguientes diferencias pueden no ser aplicables a todos los organismos, petróleo crudo o productos refinados.

- El petróleo contiene una mezcla mucho más compleja de hidrocarburos, cuyos miembros adyacentes de números impar y par de átomos de carbono se encuentran aproximadamente en las mismas concentraciones, lo que no sucede en los hidrocarburos biosintetizados.

- El petróleo contiene una mezcla compleja de distintos tipos de cicloalcanos y de hidrocarburos aromáticos, en comparación con los organismos marinos, en que no se ha señalado la presencia de compuestos

cíclicos sustituídos en el anillo con alquílicos.

- El petróleo contiene hidrocarburos aromáticos nafténicos que no han sido encontrados hasta el presente en los organismos marinos.

- El petróleo contiene heterocompuestos (azufre, nitrógeno, oxígeno y metales) y compuestos asfálticos. Estos numerosos heterocompuestos no se han encontrados en organismos y los compuestos asfálticos no son naturales de los organismos vivos.

Hidrocarburos de origen geológico y geoquímico.

Se ha estimado que la proporción del petróleo presente en el sistema marino a consecuencia de la descarga directa de infiltraciones submarinas en el agua asciende en total a aproximadamente un 10% del flujo antropogénico (2).

Las condiciones geológicas y geoquímicas determinan el lugar donde pueden producirse las infiltraciones, las que se originan en yacimientos de petróleo comerciales y no comerciales. Al parecer, existe una estrecha correlación entre las zonas de gran infiltración y de actividad tectónica en curso (2).

Se han formulado criterios geológicos para evaluar el potencial de infiltración de las zonas situadas frente a las costas definiendo tres categorías en función de su actividad sísmica (2):

- Zonas de gran potencial de infiltración, caracterizadas por una gran frecuencia de terremotos y fallas de desplazamiento horizontal.

- Zonas con un potencial moderado de infiltración, caracterizadas por una baja frecuencia de terremotos.

- Zonas con un bajo potencial de infiltración, caracterizadas por poca

o ninguna actividad sísmica.

Se estima que la zona de gran infiltración aportan el 45% de la infiltración mundial, la moderada el 55% y las de poca infiltración el 1% aproximadamente. Además el Océano Pacífico tiene mayor número de zonas de gran potencial de infiltración que los otros océanos (1).

Hidrocarburos de origen antropogénico.

Dentro de los hidrocarburos de petróleo de origen antropogénicos se destacan el aporte del flujo atmosférico, del cual, una parte penetra en el sistema oceánico debido al lavado por las lluvias, a la precipitación directa o a las interacciones aire-mar. Dos tercios proceden de vehículos de transportes, como automóviles y el resto procede de la combustión de petróleo en instalaciones fijas y en procesos industriales, también de la evaporación de disolventes y de gasolina (2).

Además de la contribución atmosférica se encuentran los desechos municipales y aguas domésticas residuales que corresponde al flujo de hidrocarburos de petróleo depositados en las zonas urbanas (2).

Existe un flujo de petróleo al océano producto de derrames accidentales por embarcaciones y debido a las operaciones de perforación y extracción frente a la costa (2).

Comportamiento del Petróleo derramado en el mar.

Cuando se produce un derrame en el mar es necesario conocer en forma aproximada el comportamiento del petróleo derramado. Hay una serie de procesos naturales relacionados con las propiedades físicas y químicas de este, que dependen de la extensión, desplazamiento y degradación final de la mancha. Estos procesos incluyen la extensión, evaporación y aerolización, disolución, hundimiento y afloramiento,

oxidación atmosférica, degradación biológica y formación de emulsiones (Fig.1). Simultáneamente la mancha puede estar desplazándose por efectos del viento y corrientes marinas (4).

Es importante señalar que el comportamiento de la mancha depende en gran medida del tipo de hidrocarburos y de las condiciones climáticas (4).

El primer fenómeno que puede observarse cuando ocurre un derrame en el mar, es la tendencia del hidrocarburos a extenderse sobre la superficie del agua formando una delgada película con exepción de ciertos crudos y aceites residuales pesados que tienen un peso específico superior a la del agua. La expansión horizontal de la mancha sobre la superficie del agua ocurrirá aún en ausencia total de vientos y corrientes marinas, y se debe a la interacción de varias fuerzas involucradas en el proceso, tales como fuerzas de gravedad, contrarrestada por fuerzas de inercia y la resistencia de fuerzas de viscosidad (4).

Sin embargo, en la expansión horizontal de la mancha se debe tener presente la reducción debida a la evaporación que sufren las fracciones livianas (4).

El movimiento de una mancha de petróleo (u otros hidrocarburos) en el mar se debe a la acción del viento y las corrientes marinas, así como del oleaje, aún cuando el efecto de este último es menor que el de los otros factores. Comúnmente se asume que un derrame se mueve en la dirección que sopla el viento a aproximadamente 3.4 % de su velocidad, simultáneamente se mueve a la misma velocidad de la corriente marina superficial y generalmente el viento y la corriente no siguen en la misma dirección, de manera que la predicción del movimiento de la

mancha envuelve la descomposición y suma vectorial de los componentes (4).

La evaporación es un proceso importante que afecta especialmente en el caso de productos muy volátiles. La intensidad de la evaporación depende fundamentalmente de la presión de vapor de hidrocarburos a la temperatura del agua de mar, pero la presencia de los vientos fuertes aumenta el proceso, así, cuanto más agitado es el estado del mar, más rápido es el proceso de evaporación. Se ignora el destino de estos hidrocarburos (principalmente de bajo peso molecular, con doce átomos de carbono o menos) en la atmósfera, especialmente en lo que se refiere a su retorno potencial a los océanos (2,4).

Otro proceso de tranferencia de hidrocarburos a la atmósfera, aunque de menor importancia es la formación de aerosol o rocío producido por un oleaje intenso durante un temporal (4).

La disolución es otro proceso físico por el cual las fracciones ligeras de hidrocarburos y componentes polares se disuelven en la columna de agua bajo el derrame. Cuanto menor es su peso molecular y mayor su polaridad, un hidrocarburos será más soluble en el agua de mar, de modo que sólo las partes ligeras son relativamente solubles en tanto que la gran mayoría de los componentes no se disuelven en agua de mar. La solubilidad de ciertos compuestos puede aumentar debido a los procesos de intemperización (2,4).

La exposición de los compuestos del petróleo al oxígeno y a la luz en las aguas superficiales puede provocar su oxidación, lo que también contribuye a la descomposición o degradación final del derrame. Como esta reacción ocurre en la superficie, habrá más oxidación cuando el hidrocarburos se ha extendido en una delgada película. Esta reacción es lenta comparada con otros procesos, pues sólo una pequeña

cantidad de oxígeno puede penetrar en la mancha de hidrocarburos . La radiación ultravioleta del sol produce una oxidación fotoquímica, que puede implicar la degradación hasta alrededor de un 1% del derrame cada día, dependiendo de la latitud e intensidad solar (2,4).

Tanto el agua en petróleo (A/P) como el petróleo en agua (P/A) pueden formar emulsiones facilitadas por la presencia de componentes tensoactivos en las aguas oceánicas, siendo las propiedades de cada tipo de emulsión muy diferentes, aunque ambos se forman por la acción de las olas. Las emulsiones P/A pueden dispersarse con facilidad por las corriente marinas y la agitación superficial. Los tensoactivos algunas veces se encuentran en el mismo hidrocarburos , y si estos agentes están ausentes, las gotas de tamaño relativamente grande de petróleo formados por el oleaje tienden a integrarse y reformar la mancha de petróleo. La formación natural de emulsiones P/A resulta muy positiva para la degradación de la mancha, ya que acelera los procesos de disolución, fotooxidación y biodegradación (4).

El otro tipo de emulsión (A/P), se forma cuando se mezcla agua con un petróleo viscoso asfáltico por acción de las olas, pero a diferencia de la otra emulsión, esta es muy estable y puede durar meses o años. A su vez la degradación de la emulsión es extremadamente lenta, pues la superficie expuesta a la acción química y biológica es pequeña (4).

El proceso que termina por mineralizar una mancha de petróleo es la biodegradación, realizada por ciertas especies marinas, hongos y otros organismos que utilizan los hidrocarburos como fuentes de energía alimentaria para la oxidación de estos compuestos (4).

La oxidación microbiana aeróbica, utiliza oxígeno tanto atmos-

férico como disuelto en el agua, y la oxidación anaeróbica utiliza muy poco oxígeno y más bien nitratos o sulfatos, en ambos la intensidad del proceso depende principalmente de la temperatura del agua, del oxígeno disuelto y del tipo de petróleo. En condiciones normales el proceso se hace muy lento, debido al agotamiento paulatino de oxígeno y nutrientes, a la formación de emulsiones A/P, etc (4).

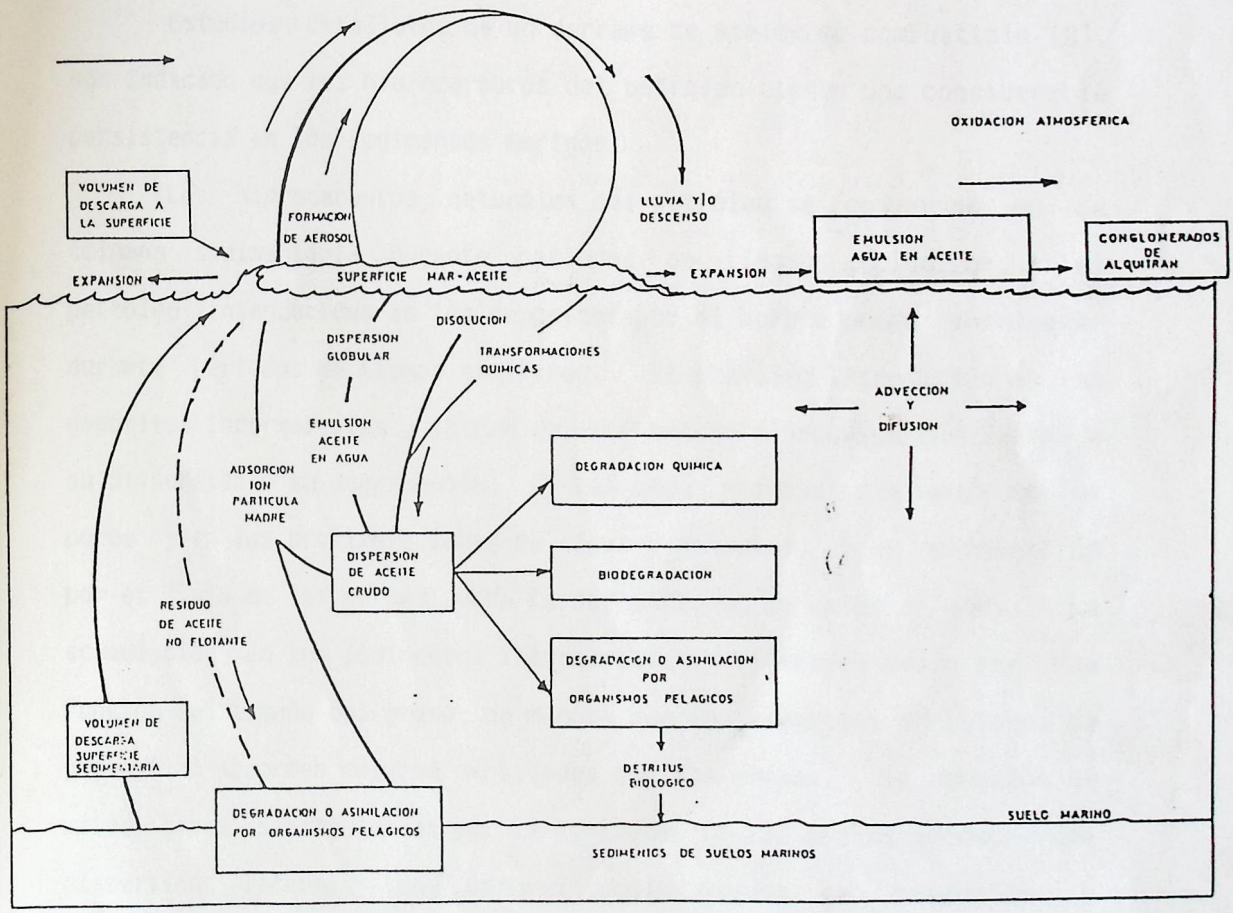


Fig.1: Algunos de los procesos que afectan al medio ambiente marino por la entrada de aceite.

Destino de los Hidrocarburos de Petróleo.

El petróleo se encuentra en formas de fases disueltas de dispersiones de partículas tales como los conglomerados de alquitrán en el agua de mar o de fases ligadas a las partículas que pueden incorporarse a un organismos a través del alimento que este ingiere. Una vez en él, el petróleo puede ser metabolizado, almacenado, o excretado, así por ejemplo, los hidrocarburos aromáticos y parafinicos son degradados por los peces y por algunos invertebrados marinos (2).

Estudios detallados de un derrame de aceite de combustible (2), han indicado que los hidrocarburos del petróleo tienen una considerable persistencia en los sedimentos marinos.

Los hidrocarburos naturales del petróleo se conservan en la columna sedimentaria durante periodos de tiempo geológicos y el petróleo introducidos en los depósitos por el hombre puede permanecer durante periodos de tiempo similares. El petróleo introducido en los depósitos intermareales y litorales está sujeto a procesos que llevan a su dispersión o su degradación. En las zonas rocosas se acumula en los poros y en las proliferaciones de algas y animales, y su eliminación por el flujo de las mareas puede tardar periodos de meses o años. La acumulación en los sedimentos intermareales y litorales suele ser una función del tamaño del grano, de manera que los minerales arcillosos de grano fino absorben mayores cantidades que las arenas. La remoción de estas fases sedimentarias por la actividad de las mareas produce una dispersión lateral, con mayores posibilidades de oxidación y disolución, siendo esta última cuantitativamente más importante (3).

Efectos del Petróleo en organismos marinos.

Se identifican cinco reacciones (5) para describir mejor los

efectos del petróleo en un organismo individual, ellas son:

- Toxicidad letal directa, que se refiere a la intervención de hidrocarburos en procesos celulares y subcelulares, especialmente en actividades de membranas, que llevan directamente a la muerte del organismo; este efecto se ha observado en peces como **Fundulus heteroclitus**, **Pseudopluroctes americanus**, en moluscos comos **Crassostrea virginica**, **Mytilus edulis** entre otros. Organismos marinos adultos pueden presentar efectos letales en concentraciónes de hidrocarburos aromáticos solubles en el rango de 1 a 100 mg kg^{-1} y etapas larvarias pueden ser sensibles a concentraciones tan bajas como 0.1 mg kg^{-1} (5).

- Alteración subletal, que implica interferencias con procesos fisiológicos y celulares pero no incluyen efectos que causen muerte inmediata, estos son entre otros alteración del comportamiento, especialmente en alimentación, en el que un animal afectado puede encontrarse en desventaja para competir en la búsqueda de su alimento, y en la reproducción, en donde dichos procesos son perturbados por el enmascaramiento de la presencia de feromonas, o también pueden disminuir la viabilidad de los gametos o matar las formas larvales de los animales (2). Efectos subletales se han observado en moluscos como **Argopecten irradians**, **Crassotrea virginica** y **Mytilus edulis** entre otros (5).

- Efectos de cubrimiento con petróleo, los que no son resultados de interferencia bioquímica del petróleo con actividades celulares. Sus efectos principales son asfixia, interferencia mecánica tales como movimiento y alimentación que afecta principalmente a especies sésiles intermareales, **Mytilus edulis** y **Littorina littorea** (5), plancton, aves y mamíferos marinos que son los grupos más suceptibles al cubrimiento. Otros organismos móviles nectónicos pueden evitar la exposición a este.

- Incorporación de hidrocarburos en organismos, que pueden causar acumulación potencial de hidrocarburos aromáticos policíclicos, especialmente cancerígenos en varios organismos marinos, los que se absorben con facilidad en el intestino de animales marinos y su descomposición metabólica en estos es lenta. Sin embargo los humanos no absorben en grado apreciable hidrocarburos aromáticos policíclicos por el tracto intestinal (5).

La contaminación de organismos comestibles con hidrocarburos ocurre frecuentemente en las especies marinas, esta incorporación es experimentada por moluscos como **Argopecten irradians, Crassostrea virginica, Mytilus edulis** y también por una gran variedad de crustáceos (5).

- Cambios en los hábitat biológicos, que incluyen efectos de alteración en el medio ambiente físico o químico, lo cual produce modificaciones significativas que no permiten que especies que se encuentran normalmente en un área puedan hacerlo. Esto afecta especialmente a especies intermareales y especies bentónicas submareales. La naturaleza a largo plazo de este efecto y la degradación lenta del petróleo en sedimento lleva a una residencia de este del orden de tres a diez años, dependiendo del tamaño de las partículas sedimentadas, nutrientes, luz, temperaturas y exposición a corrientes (5).

Se ha observado cambios en el hábitat del crustáceo **Ampelicea** vadorum como también del molusco Mya arenaria (4).

Desafortunadamente, la identificación de las respuestas de organismos al petróleo se hace más complicada por la naturaleza de los constituyentes de este. Petróleos crudos y productos refinados son

mezclas de muchas substancias que varían ampliamente en características físicas, químicas y en efectos biológicos. Debido a que los constituyentes dominantes son los hidrocarburos, casi todos los efectos biológicos se deben a estos. En particular, las respuestas tóxicas son principalmente ocasionadas por los aromáticos de más bajo punto de ebullición (implica mayor solubilidad), y que están indicados como la causa principal de mortalidad. Ciertos compuestos heterocíclicos también son conocidos como bastante tóxicos, sin embargo dada la baja concentración a la que se encuentran en el petróleo y sus solubilidades mucho menores, es extremadamente improbable que estas substancias sean responsables de efectos tóxicos (5).

Por último, se puede presumir que la ingestión de peces o moluscos contaminados con petróleo incluso a concentraciones muy pequeñas, puede producir efectos sobre la salud del hombre. Preocupa en particular la ingestión de substancias cancerígenas, especialmente los hidrocarburos aromáticos policíclicos contenidos en el petróleo. Es evidente que el consumo de productos del mar contaminados con estas substancias pueden añadir pequeñas cantidades a las ya inhaladas con el humo de los cigarrillos.

- Salud del ♂.
- baja ~~productividad~~ diversidad
- Cambios en los patrones típicos de ocupación vertical de algunos invertebrados
- baja en la abundancia específica
- probable efecto letal en los individuos más pequeños de invertebrados característicos del área.

1.2 Metales Pesados y Arsénicos.

Un problema que adquiere cada día especial importancia en las zonas marítimas costeras es el de la contaminación por metales pesados. Sus principales fuentes de contaminación al ambiente marino se debe a las descargas de desechos urbanos e industriales, las emisiones de combustión y las actividades minero-metalúrgicas (6).

Una vez en el agua, estos metales pueden precipitar o ser adsorbidos por superficies sólidas, manteniéndose en suspensión hasta ser ingeridos por especies marinas suceptibles de acumularlos. Así, por ejemplo, el zooplancton que representa uno de los alimentos más importantes para los peces, tiende a acumular metales pesados por combinación de estos con proteínas tales como las metalotioninas (6).

A nivel de trazas, algunos metales son constituyentes normales de los organismos marinos e incluso esenciales para su normal crecimiento y desarrollo, sin embargo a concentraciones mayores resultan tóxicos al interferir con los mecanismos enzimáticos (69). A concentraciones moderadas estos metales, sin alcanzar un efecto letal en los organismos, producen una serie de efectos reconocibles, tales como cambios morfológicos, efectos inhibitorios y cambios en el comportamiento de las especies. Estos efectos incluyen entre otros, deformaciones físicas (7), cambios de color o sabor en las partes comestibles (8), inhibiciones al crecimiento (7), pérdida del apetito o retardo en la madurez sexual (9,10).

Un gran número de metales son considerados contaminantes del medio marino, variando en forma notable la toxicidad de unos a otros. Son considerados más peligrosos el mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) entre otros pues no tienen ningún valor nutricional ni metabólico hasta ahora conocido y por el contrario resultan tóxicos a cualquier

concentración (69). Constituyen el grupo llamado "venenos metálicos". Entre aquellos que en bajas concentraciones ejercen un rol bioquímico esencial y que se denominan micronutrientes, se puede citar cobre (Cu), niquel (Ni), cobalto (Co), fierro (Fe) entre otros. (11).

Clasificación de Elementos de acuerdo a la toxicidad y disponibilidad (17).

No tóxicos: Na, K, Mg, Ca, H, O, N
C, P, Fe, S, Cl, Br
F, Li, Rb, Sr, Al, Si

Tóxicos pero muy insolubles o escasos: Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Re
Ga, La, Os, Rh, Ir, Ru, Ba

Muy tóxicos y de acceso relativo: Be, Co, Ni, Cu, Zn, Sn
As, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt
Au, Hg, Tl, Pb, Sb, Bi.

Plomo.

Más del 10% de la producción anual es utilizado en combustible como antidetonante en forma de plomo tetraetilo. Gran parte de este metal es liberado a la atmósfera como gases de escape cuyo destino final puede llegar al mar, habiéndose demostrado que ciertos agentes secuestrantes utilizados como activadores en los detergentes sólidos (polifosfatos sódicos, trifosfatos sódicos), o como aditivos en detergentes líquidos (ácido nitriloacético, EDTA), se combinan con el Pb en medio alcalino y de esta manera son movilizados en la hidrósfera. Se considera que por esta ruta entran más de 200 mil toneladas anual-

mente en el medio marino y que es la causa de las elevadas concentraciones de este metal encontradas en las aguas y sedimentos cercanos a las costas industrializadas y densamente pobladas. El Pb es utilizado también en la fabricación de pinturas, cañerías, materiales de soldaduras y es un componente común de los residuos de muchas fábricas de productos químicos (8).

Cobre.

Este metal es utilizado en grandes cantidades en la fabricación de cañerías, cables, revestimiento de tanques y depósitos, galvanoplastía, etc (8).

El cobre se utiliza en pinturas como agente antiincrustante a fin de proteger los cascos de los barcos contra la fijación de determinados organismos, disolviéndose cantidades significativas de este metal, que representan un flujo estimado en un 1% del aportado por vía fluvial (2).

También son utilizadas diversas sales de Cu en distintas industrias con la consiguiente aparición en la descarga de desecho de estas sales.

Cadmio.

Cantidades relativamente grandes de este metal se utilizan en industrias metalúrgicas, procesos electrolíticos, producción de baterías, estabilizantes de pinturas, fabricación de células fotoeléctricas y otros procesos industriales. Además el zinc comercial puede contener hasta un 1% de Cd y las refinerías de zinc y otros metales pueden desprender este metal. El Cd puede ser introducido en el medio marino a través de los ríos, por vertidos de residuos

industriales y por contaminación aérea (8).

Mercurio.

La mayor producción de Hg se utiliza con fines industriales, estas industrias se pueden clasificar en dos grandes grupos: Las recuperativas, que recuperan en mayor o menor grado el Hg utilizado, como son las de electrólisis (cloroálcali), industrias eléctricas y catálisis; y las industrias no recuperativas, como lo son las que fabrican derivados para la agricultura, pinturas, productos farmacéuticos, odontología, baterías secas, etc. Más del 45% del Hg utilizado industrialmente lo es en las industrias de cloroálcali y en teoría no deberían producirse pérdidas de Hg, pero en realidad se estiman pérdidas de 100 a 200 g por tonelada de cloro elaborada, y gran parte de esa pérdida llega al medio marino por los vertidos y desde la atmósfera (8). La combustión de carbón también es una fuente importante; una planta termoeléctrica de 660 MW emite alrededor de 2.5 kg/día (70). Otro aporte de interés es el proceso de trapiche en la extracción de oro en la minería.

Las descargas de Hg al provenientes de fuentes naturales y antropogénicas al medio acuático son principalmente en forma de mercurio elemental (Hg^{o}) y mercurio inorgánico divalente (Hg^{+2}), sin embargo ciertos organismos bacterianos cuando están expuestos al Hg inorgánico pueden convertirlo en compuetos de Hg orgánico (Fig. 2), generalmente metíl mercurio, el cual puede ser incorporado por peces y animales (12).

La eficiencia de la metilación es dependiente de la actividad metabólica de los organismos metiladores y de la concentración total y disponibilidad bioquímica del Hg inorgánico. A su vez, la

descomposición del Hg metilado puede ocurrir, ya sea por actividad enzimática o no enzimática, siendo un mecanismo importante de descomposición no enzimática la descomposición fotolítica (12)

Las investigaciones realizadas hacen suponer que tanto los procesos de metilación como desmetilación ocurren frecuentemente en el medio acuático, así que probablemente se alcance un estado de equilibrio que previene la acumulación excesiva de metíl-mercurio manteniéndose a un nivel más o menos constante en los sedimentos (12).

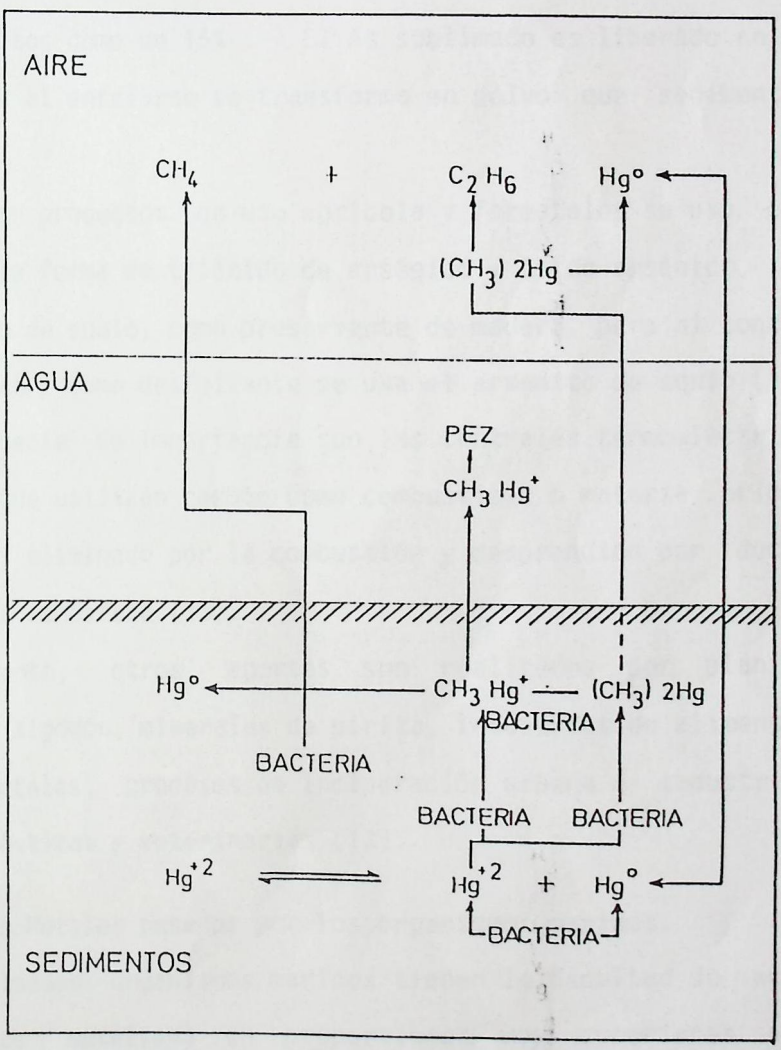


Fig. 2: Ciclo del metíl-mercurio.

Arsénico.

El arsénico (As) y sus compuestos son agentes contaminantes conocidos cuyos principales aportes son las fuentes naturales, correspondiendo a éstas los depósitos de As en suelos, rocas y sedimentos, que contaminan canales y ríos y por arrastre llegan al mar (13).

La industria metalúrgica es una fuente importante de este contaminante el cual se obtiene como subproducto de las fundiciones de Cu, Pb y Zn, habiéndose encontrado presente en estos minerales hasta valores tan altos como un 15% . El As sublimado es liberado en forma de humo que al enfriarse se transforma en polvo que sedimenta por gravedad (13).

En los productos de uso agrícola y forestales su uso es muy conocido, a la forma de trióxido de arsénico y ácido arsénico, en la esterilización de suelo, como preservante de madera, para el control de algas acuáticas y como desfoliante se usa el arsenito de sodio (13).

Una fuente de importancia son las centrales termoeléctricas e industriales que utilizan carbón como combustible o materia prima, en que el As es eliminado por la combustión y desprendido por ductos y chimeneas a la atmósfera (13).

Finalmente, otros aportes son realizados por plantas e industrias de algodón, minerales de pirita, industrias de alimentos, de vidrios y metales, procesos de incineración urbana e industrias de papel, farmacéuticas y veterinarias (13).

Acumulación de Metales pesados por los organismos marinos.

Determinados organismos marinos tienen la facultad de acumular los elementos metálicos en proporciones muy superiores a las

concentraciones existentes en el medio en que viven. Esta acumulación puede efectuarse directamente a partir del agua de mar e indirectamente a través de la cadena alimentaria. Un ejemplo de esto es la acumulación de Hg en su forma de metíl-mercurio, el cual pasa desde el fitoplancton a peces y mamíferos marinos (13).

Los factores de concentración dados en la bibliografía varían mucho para cada metal y aún para un mismo metal dependen del organismo con que se efectúa el bioensayo de acumulación, la duración de este, concentración del metal, etc. Asimismo, la acumulación de metales no se efectúa de una forma uniforme en todos los órganos, siendo en el caso del ostión, acumulado preferentemente en el manto y las branquias (8).

Una vez acumulados los metales por los organismos marinos, el período biológico de depuración de éstos (vida media biológica) es también muy variable, dependiendo del metal, del organismo y en determinados casos de la forma que se encuentra el metal acumulado.

Efectos Biológicos por la contaminación de metales pesados.

Los efectos biológicos de los metales pesados se pueden clasificar en físicos, químicos y fisiológicos, los que varían dependiendo de factores tales como la naturaleza física o química del compuesto, la cantidad o dosis que se incorpora o se pone en contacto con el organismo, la forma en que entra en éste, la presencia o ausencia de otras substancias que puedan aumentar o disminuir los efectos (8).

La toxicidad aguda es el criterio más utilizado para comprobar los efectos de la contaminación, la cual está sujeta a incovenientes como la dificultad de reproducir las condiciones naturales de los

bioensayos y estandarizarlos, pues la toxicidad de un contaminante puede ser afectada también por factores como lo son las condiciones físico-químicas del agua utilizada en los experimentos, (presencia de agentes quelantes, pH, Tº, salinidad), el estado físico-químico y características de acción del contaminante (forma iónica, en partículas, en enlace orgánico , etc), y el estado de comportamiento de los organismos de ensayos (grado de retención e índice de eliminación, adaptación previa a los contaminantes, etc) (8). Así, la toxicidad de un determinado metal será variable según el organismo expuesto, tal es el caso de la exposición de individuos juveniles **Argopecten irradians** y **Spísula solidissima** a Cu, en que la concentración media letal (CL50 96 h.) determinado es 0.029 y 0.051 respectivamente (15). El CL50 para un determinado individuo será diferente según el metal al cual se ha expuesto, como ejemplo, la exposición de estos mismos organismos en sus formas juveniles, a Pb, en que el CL50 96 h. para **A. irradians** es 8.60 y **S. solidissima** es 5.40 (15).

Por otro lado, se ha comprobado que la toxicidad de los metales pesados es muy distinta para los individuos adultos o sus formas larvarias ya que para estas últimas, el CL50 es muy inferior al determinado para los individuos adultos, un claro ejemplo es el CL50 48 h. para el Hg determinado en individuos adultos y larvas de **Ostrea edulis**, el cual es de 4.2 y 0.001-0.03 respectivamente (8). De esto se deduce que el intentar establecer las concentraciones máximas admisibles en el agua de un contaminante, debido a los efectos letales que produce a corto plazo sobre individuos adultos de determinada especie puede ser un error fatal, ya que concentraciones que aparentemente no ejercen efectos perniciosos sobre individuos adultos podrían destruir totalmente todas las larvas e individuos juveniles de la misma

especie, sin considerar los efectos subletales y de acumulación que pueden sufrir a largo plazo (8).

Son interesantes los bioensayos realizados con cantidades subletales de metales, que aunque no causan la muerte de los organismos, pueden producir cambios degenerativos en distintos órganos de estos, retardando el crecimiento y la maduración e inhibiendo la reproducción. Así, la exposición crónica a concentraciones subletales de Cu y Cd subletales sobre Placopecten magellanicus provocó cambios histopatológicos en divertículo digestivo, sistema reproductivo, tentáculo y riñones (10). Además se atribuye la muerte de un gran porcentaje de estos individuos por deterioro de la función excretora renal, principalmente al Cu (10). Efecto similar se observó sobre Fundulus heteroclitus por exposición a dicho metal (10).

Un experimento realizado con A. irradians y con M. edulis (10), expuestos a Cu, corroboró el daño intestinal observado sobre estos individuos, provocando además sobre M. edulis cambios histopatológicos del epitelio del estómago y sistema reproductivo, debido a la afinidad de este metal por las células epiteliales de variados órganos (9).

Se observó efectos citogenéticos inducidos sobre embriones del pez Fundulus heteroclitus al exponer huevos fertilizados de estos individuos a metíl-mercurio con consecuencias graves, tales como retardo del desarrollo, decrecimiento mitótico y aumento de aberraciones cromosomales (7). Conjuntamente se determinaron efectos teratogénicos sobre estos embriones por inducción de anomalías craneofaciales, cardiovasculares y malformaciones en el esqueleto (7). Se atribuye al metíl-mercurio un efecto mutagénico asociado a carcinogénesis (7).

U. DE VALPARAISO
BIBLIOTECA
COORD. GEN. C3. BAS

En general, estos estudios sugieren el riesgo ecológico potencial producto de la contaminación de agua y sedimentos marinos.

La toxicidad de los metales y sus compuestos sobre el hombre es dependiente del compuesto y de la cantidad ingerida.

El plomo es un veneno acumulativo que inhibe la acción enzimática y deteriora el metabolismo celular. Para analizar el impacto del Pb sobre la salud del hombre se debe considerar la cantidad ingerida junto con los alimentos y la fracción retenida por el organismo. Factores alimentarios tales como el contenido de calcio, ácido fítico y proteínas pueden influir en la absorción del Pb ingerido y para que este dé lugar a efectos tóxicos debe ingresar en el torrente circulatorio (8).

La toxicidad de este metal a diferencia de Hg y Cd, ha sido conocida por muchos siglos y se denomina "plumbismo". En esta enfermedad los más expuestos son los niños y jóvenes. La vía de ingreso al organismo no implicaba a los alimentos, sino a los utensilios de cocina confeccionados con compuestos del Pb tales como pinturas, cemento y yeso (16).

El envenenamiento debido al Pb en la niñez es un problema real en muchas áreas úrbanas viejas (especialmente en barrios pobres), y se considera un principal origen de daño cerebral y deficiencia mental (16).

La acción tóxica en la sangre se caracteriza por una anemia, consecuencia de la destrucción progresiva de las células, o debido a que el Pb en forma de fosfato, se deposita en las paredes celulares de los glóbulos rojos haciéndolos quebradizos (8).

El cobre es un óligoelemento indispensable, pero en grandes dosis ejerce una acción tóxica e irritante. Además, puede resultar

nocivo en cantidades mucho menores, por ser uno de los metales más activos entre los catalizadores oxidantes, destruyendo la vitamina C e inhibiendo fuertemente el desarrollo bacteriano, es por esta razón que cabe señalar que afecta a la acción de la flora intestinal y produce transtornos en el metabolismo (8).

Al parecer el cadmio es un óligoelemento esencial, prácticamente ausente del organismo del recién nacido, pero que se acumula en el cuerpo humano con el tiempo hasta llegar a un máximo a la edad de 50 años. Los órganos donde principalmente se acumula el metal son los riñones, hígado y pulmones (8).

En Japón en 1974, el consumo de alimento y agua con un alto contenido de Cd dió lugar a la enfermedad denominada "Itai-Itai". El origen de la contaminación fué en el río Jintsu por una mina de Zn y Pb, propiedad de Makioko Co., situada a 50 km. río arriba desde el pueblo afectado. Durante la segunda guerra mundial la producción de Zn y Pb desde estas minas aumentó, con la consiguiente descarga de los efluentes de la planta directamente sobre el río (16).

El Itai-Itai es una enfermedad causada por envenenamiento crónico, sobre la condición de la existencia de factores que induzcan, tales como embarazo, lactancia, envejecimiento, deficiencia de calcio, etc (16), en la cual los afectados sufren proteinuria tubular con osteomalasia y seudofracturas (8).

El mercurio metálico y el cloruro mercurioso al ser ingeridos por el hombre apenas producen efectos tóxicos sobre él, mientras que es conocida la alta toxicidad del cloruro mercúrico (sublimado corrosivo) y de los compuetos orgánicos del Hg (8).

El desastre producido en Minamata (Japn) revela, luego de

extensas investigaciones, que fué causado por el consumo de pescados y otros alimentos comestibles contaminados con metíl-mercurio. El origen de la contaminación se atribuyó a efluentes de varias plantas de la firma Química Chisso Co., manufacturadora de plásticos (PVC). Los habitantes de la región que consumieron estos productos marinos sufrieron desde un debilitamiento de músculos, pérdida o daño a la visión, deterioro de la función cerebral y eventualmente parálisis, los cuales en numerosos casos resultaron en comas o muertes (16). En estos individuos se pudo comprobar la acumulación de grandes cantidades de Hg en el hígado, riñón, cerebro, sangre y cabellos. Efectos teratogénicos y especialmente fetotóxicos también se atribuyen a causa de que el Hg es capaz de alcanzar el feto y provocar cambios histopatológicos incluídos los del material genético (16).

Un segundo caso de importancia es el ocurrido en Niigata (Japón), en el cual sus habitantes, principalmente pescadores y sus familias consumían regularmente productos marinos desde esta área y peces del río Agano, el cual llevaba efluentes de una planta eléctrica industrial (16).

Se cree que la acción más importante del Hg es debida a la fuerte afinidad que tiene este metal y gran número de sus compuestos por los grupos - SH - (sulfidrilos) que desempeñan un juego vital en las enzimas y en las membranas celulares pudiendo inhibir o interferir en importantes funciones (8).

El arsénico es un tóxico celular que actúa a nivel enzimático y en la división celular, por esta razón puede atacar prácticamente todos los órganos y sistemas del organismo, siendo los más afectados el sistema gastrointestinal, el sistema nervioso, circulatorio y aparato respiratorio. Por otra parte afecta la piel, la hematopoyesis, el

hígado, la visión, la síntesis de algunas proteínas y puede alterar funciones intracelulares como la formación de cromosomas y producción de energía (13).

En general, los efectos tóxicos del As son atribuidos a una acción inhibitoria de este metaloide sobre el metabolismo celular, debido a su estrecha afinidad a enzimas, especialmente los que contienen grupos sulfidrilos con los cuales puede unirse (13).

Un caso de masiva intoxicación sobre niños ocurrió en Japón (1955), la que se originó por el consumo de leche helada que contenía un estabilizante (fosfato sódico) contaminado con As. Este fosfato fué obtenido como producto generado durante la producción de Aluminio para Bauxita (Al_2O_3). Ciento treinta de los casos registrados resultaron fatales y pruebas médicas posteriores demostraron persistencia en cambios del sistema nervioso central, especialmente disturbios mentales (16).

La intoxicación crónica muestra claros síntomas respiratorios, pérdidas auditivas y se ha asociado con aumento en la incidencia de cáncer en las áreas afectadas (16).

En Chile, en la ciudad de Antofagasta se reportaron en 1960 manifestaciones dermatológicas en niños junto con broncoestáceas, síndrome de Raynaud, isquemia, infarto al miocardio, producto de la contaminación de aguas con grandes contenidos de As a través del río Toconce (13).

La evidencia de ingesta de metales pesados y As por el hombre en los alimentos ha motivado distintas organizaciones relacionadas con la salud y/o alimentación. El comité mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (17), establece las ingestas máximas para los

metales:

Ingesta semanal admisible provisional para seres humanos

- Plomo: 0.05 mg/kg de peso corporal
- Cadmio: 0.0067-0.0083 mg/kg de peso corporal
- Mercurio total: 0.005 mg/kg de peso corporal
- Metíl-mercurio: 0.0033 mg/kg de peso corporal

Ingesta diaria admisible provisional para seres humanos

- Cobre: 0.5 mg/kg de peso corporal
- Arsénico: 0.05 mg/kg de peso corporal

La agencia para la alimentación y las drogas de Estados Unidos (Food and Drug administration) (18) ha establecido como límite máximo permisible de metales pesados en peces los siguientes valores (ppm):

- Plomo: 2.0 ppm
- Cadmio: 2.0 ppm
- Mercurio: 0.5 ppm

Es importante destacar que en nuestro país no se cuenta con una norma que reglamente el contenido de metales pesados en alimentos frescos, y sólo está normalizado el contenido de metales en alimentos enlatados.

OBJETIVOS

2.1 Objetivo General:

Identificar y cuantificar agentes contaminantes químicos en un contexto espacial con el fin de conocer las condiciones actuales imperantes en la bahía de Quintero.

2.2 Objetivos Específicos:

1.- Conocer cuantitativamente los niveles de hidrocarburos dispersos/disueltos en aguas y aquellos incorporados en sedimentos y organismos marinos (P.purpuratus) en la bahía de Quintero.

2.- Determinar los niveles de los siguientes metales pesados: Plomo, cobre, cadmio, mercurio y arsénico, tanto en organismos filtradores como en sedimentos marinos.

3.- Analizar la variabilidad de los niveles de concentración de hidrocarburos y metales pesados seleccionados en función del tiempo y de la distancia a los focos contaminantes.

4.- Relacionar los niveles de hidrocarburos en agua, sedimentos y organismos, como también los metales pesados seleccionados en sedimentos y organismos con valores de literatura nacionales e internacionales.

5.- Evaluar el programa de muestreo indicado para los hidrocarburos de petróleo y metales pesados seleccionados dentro del estudio de la calidad ambiental de bahía Quintero por el proyecto FONDECYT 89 / 0315.

2. OBJETIVOS

2.3 Hipótesis:

Se sostiene que los elementos antropogénicos que se introducen a las aguas de la bahía son transportados a diferentes sectores de acuerdo a la dinámica de circulación que esta presenta, por lo cual se debe apreciar diferencias importantes en los valores de los parámetros químicos seleccionados, tanto hidrocarburos en aguas, organismos y sedimentos, como metales pesados en organismos y sedimentos, en las estaciones seleccionadas.

PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Descripción de las Muestras.

Organismo:

Los organismos naturales de la bahía muestreados para el estudio pertenecen a la especie **Perumytilus purpuratus** (Lamarck, 1819), molusco filtrador de la clase bivalvia, familia mytilidae, conocida vulgarmente por los nombres "Chorito", "Chorito maico", "Choro", y "Mejillón del Sur".

Perumitylus purpuratus es una de las especies más comunes de la familia Mytilidae en las costas de Chile. Este se distribuye en la costa del Pacífico Sur Oriental, desde el Golfo de Guayaquil, Ecuador, hasta la Isla Hermite cerca del Cabo de Hornos, y en el Atlántico Sur Occidental, hasta Santa Cruz, Argentina (19).

Dicho organismo, es de tamaño generalmente pequeño alcanzando como talla máxima los 30.4 mm; habita en la zona intermareal rocosa donde forma bancos extensos que quedan expuestos al aire de acuerdo a la amplitud de las mareas (20).

Estudios realizados en la bahía de Quintero sobre sustratos rocosos indican que la más alta biomasa por unidad de superficie (160 g/100 cm^2, peso húmedo) corresponde a la especie en cuestión (21).

Sedimento:

El sedimento característico de la zona muestreada comprende en su mayor porcentaje a una arena fina, seguida de limos, arenas medianas y arenas gruesas. Los sedimentos superficiales de los fondos marinos pueden caracterizarse globalmente como arena limosa o arena fangosa (1).

Agua de Mar:

Una gran cantidad de substancias con un alto potencial de contaminación son transportadas desde el continente hacia el océano. Estos contaminantes químicos pueden ser removidos desde el agua siendo acumulados en el sedimento (22).

El espectro de substancias con potencial capacidad contaminadora se clasifica como contaminantes orgánicos e inorgánicos (22):

Orgánicos:

Petróleo y derivados de petróleo:

- Aceite crudo.
- Productos refinados del petróleo.
- Productos de combustión y conversión.

Orgánicos sintéticos:

- Hidrocarburos halogenados.
- Otros, como pesticidas organosfosforados, PVC, etc.

Desechos Municipales:

- Aguas de desechos.
- Nutrientes (fósforo, oxígeno, carbono).

Biológicos:

- Patógenos.
- Florecimiento de Plancton.

Inorgánicos:

Metales pesados:

- Cd, Hg, Pb, Fe, Mn, Zn, Cu, etc.

Desechos inorgánicos e industriales.

3.2 Obtención de las muestras.

Los análisis se realizaron durante los meses de Mayo a Noviembre de 1989 en muestras obtenidas en una red de estaciones representativas (8 para aguas, 3 para organismos y 4 para sedimentos) distribuídas como lo indica la figura 3. La planificación del muestreo se resume en el siguiente cuadro:

	MESES						
	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.
H I D R O C A R B U R O S							
- Agua	X		X		X		X
- P.purpuratus	X		X		X		X
- Sedimento	X		X		X		X
M E T A L E S							
- P.purpuratus	X	X	X	X	X	X	X
- Sedimento	X	X	X	X	X	X	X

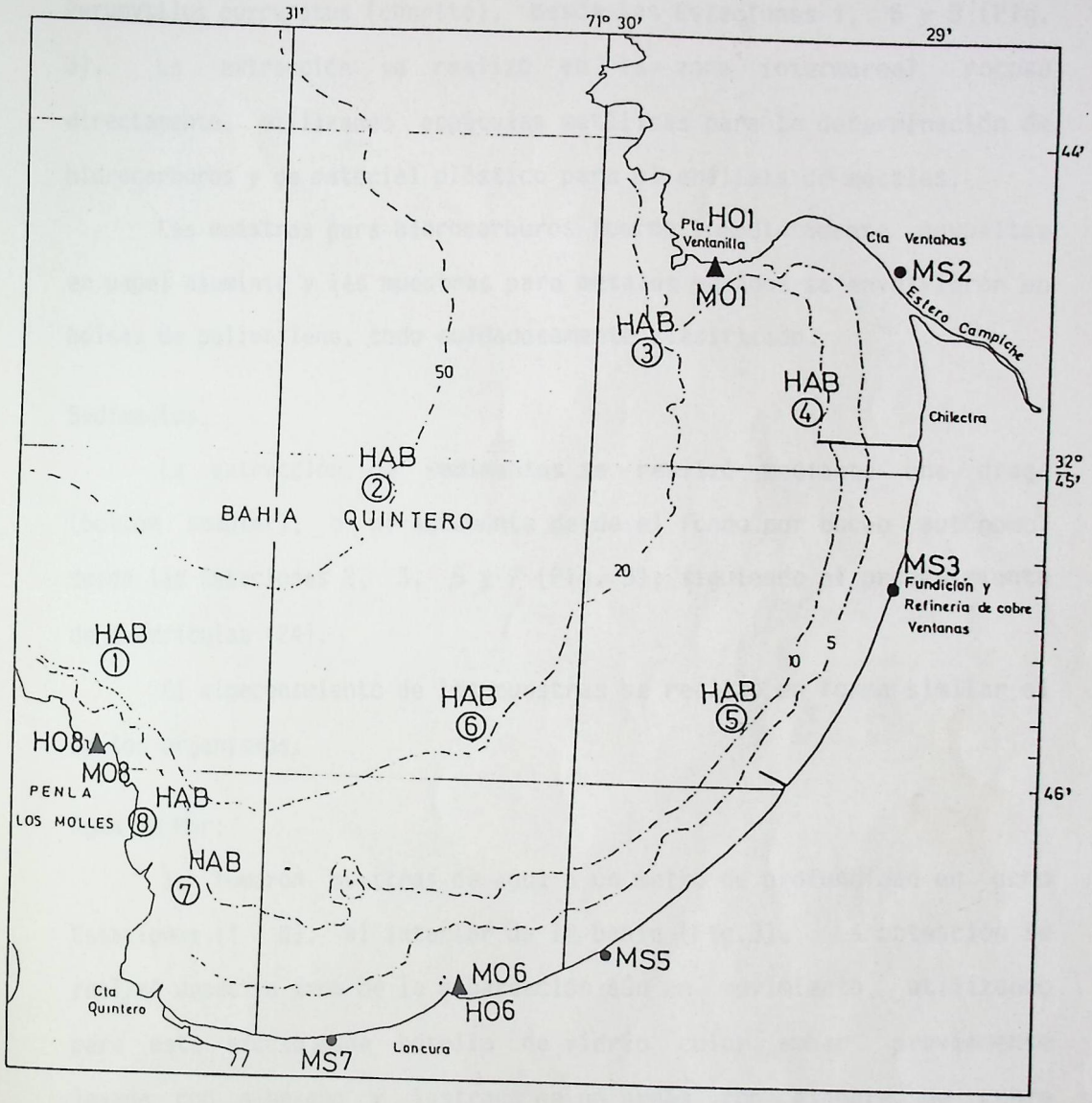


Fig.3: Estaciones para la toma de muestras de agua de mar (O), Perumytilus purpuratus (▲) y sedimentos (●).

Organismos:

Se tomaron muestras correspondientes a un organismo filtrador, Perumytilus purpuratus (chorito), desde las Estaciones 1, 6 y 8 (Fig. 3). La extracción se realizó en la zona intermareal rocosa directamente, utilizando espátulas metálicas para la determinación de hidrocarburos y de material plástico para el análisis de metales.

Las muestras para hidrocarburos fueron inmediatamente envueltas en papel aluminio y las muestras para metales pesados se envolvieron en bolsas de polietileno, todo cuidadosamente clasificado.

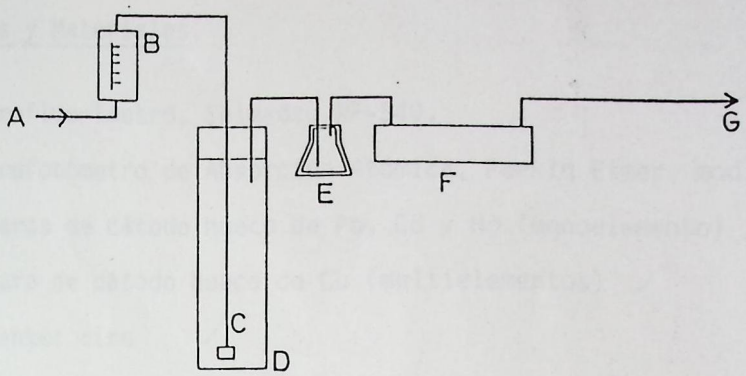
Sedimentos:

La extracción de sedimentos se realizó mediante una draga (bottom sampler), o directamente desde el fondo por buceo autónomo, desde las Estaciones 2, 3, 5 y 7 (Fig. 3), siguiendo el procedimiento de cuadrículas (24).

El almacenamiento de las muestras se realizó en forma similar al de los organismos.

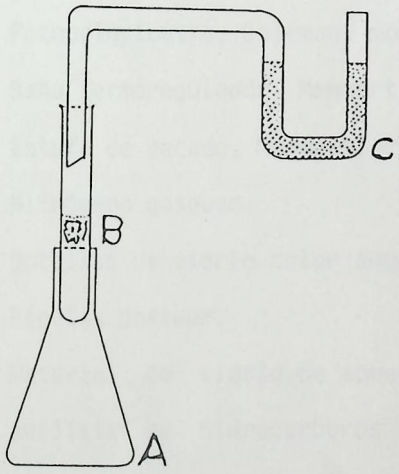
Agua de Mar:

Se tomaron muestras de agua a un metro de profundidad en ocho Estaciones (1 - 8), al interior de la bahía (Fig.3). La obtención se realizó desde la proa de la embarcación aún en movimiento, utilizando para este efecto una botella de vidrio color ambar previamente lavada con n-hexano y lastrada en un arnés con alambre de cobre provisto de un peso en su parte inferior.



A: Entrada de Nitrógeno
B: Rotámetro
C: Tubo de dispersión de aire
D: Tubo de reacción
E: Trampa de humedad
F: Celda de absorción
G: Salida

Figura 4: Sistema abierto de Vapor frío para la determinación de de Hg por Espectrofotometría de Absorción Atómica.



A: Matráz de reacción
B: Algodón con acetato de plomo saturado
C: Dietilditiocarbamato de plata en piridina

Figura 5: Generador de Hidruros.

3.3 Equipos y Materiales.

Espectrofluorímetro, Shimadzu RF-540.

Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Perkin Elmer, mod. 360.

- Lámparas de cátodo hueco de Pb, Cd y Hg (monoelemento)
- Lámpara de cátodo hueco de Cu (multielementos)
- Oxidante: aire
- Combustible: Acetileno
- Gas de arrastre: Nitrógeno

Rotavapor, Büchi.

Balanza analítica digital, Sartorius.

Digestor tipo Tekator.

- Tubos de digestión
- Bloque de plomo, eléctrico (Hot-Block)

Sistema de lectura con vapor frío (Fig. 4).

Generador de hidruros (Fig. 5).

Fotocolorímetro, Coleman, mod. 6/20 A.

Baño termoregulador, Memmert.

Estufa de secado, Memmert.

Nitrógeno gaseoso.

Botellas de vidrio color ámbar, 2.5 Litros.

Pipetas pasteur.

Material de vidrio de acuerdo a las metodologías empleadas en el análisis de hidrocarburos y metales en los distintos tipos de muestras.

3.4 Reactivos.

Hidróxido de potasio pa.	Merck	Art. 5033
Metanol pa.	Merck	Art. 6009
n-hexano pa.	Merck	Art. 4367
Oxido de aluminio 90 activo básico para cromatografía en columna (70-230 Mesh ASTM)	Merck	Art. 1076
Sílica gel 60 para cromatografía en columna (120-230 Mesh ASTM)	Merck	Art. 7734
Diclorometano pa.	Merck	Art. 6050
Sulfato de sodio anhidro pa.	Merck	Art. 6049
Criseno pa.	Fluka A.G.	Art. 27220
Acido nítrico pa.	Merck	Art. 454
Acido sulfúrico pa.	Merck	Art. 731
Acido perclórico pa.	Merck	Art. 519
Acido clorhídrico pa.	Merck	Art. 317
Clorhidrato de hidroxilamonio ps. ($HONH_3Cl$)	Merck	Art. 822334
Sulfato de hidracinio pa. $(N_2H_2)\ SO_4$.	Merck	Art. 4603
Cloruro de estaño II pa.	Merck	Art. 7815
Dietílditiocarbamato de plata pa. ($C_5H_{10}AgNS_2$)	Merck	Art. 1515
Ioduro de potasio pa.	Merck	Art. 5043
Zinc metálico en polvo pa.	Merck	Art. 8789
Acetato de plomo II trihidrato pa. $(Pb(C_2H_3O_2)_2)3H_2O$.	Merck	Art. 7375
Bromo pa.	Merck	Art. 1948
Piridina pa.	Merck	Art. 9728
Titrisoles, soluciones estandar de Pb, Cu, Cd, Hg y As; 1 g/l (1000 ppm)	Merck	

1 pp

Hg y Mo ⇒ lectura directa del agua original

Ajustar con NaOH 0,1 N

HNO_3 4N

APDC = Ac Pirrolidino - 1 - ditiocarbotílico, Sal de Amonio

DDDC =

3.5 Tratamiento de muestras y lecturas Espectrofotométricas. Hidrocarburos.

Antecedentes de los métodos:

En el análisis de organismos filtradores (P. purpuratus) y sedimentos la determinación del contenido de hidrocarburos aromáticos derivados del petróleo se efectuó siguiendo las sugerencias de Farrington y Quin (1973) (23), COI (1982) (24), Albaiges (1987) (23), destacándose cuatro etapas principales:

- Una saponificación, cuyo fín fué destruir el material lipídico que pudiese interferir en la fluorescencia de la muestra.
- Una separación de los hidrocarburos aromáticos de bajo y alto peso molecular (F_3 y F_4) de los hidrocarburos alifáticos, mediante una elusión en columna cromatográfica con óxido de aluminio.
- Una limpieza con sílica para eliminar material lipídico como carotenoides, pigmentos, etc, que pudiesen interferir.
- Transferencia cuantitativa de los extractos aromáticos y medición en un Espectrofluorímetro a 360 nm (excitación a 310 nm), contra estándares de criseno.

La extracción de los hidrocarburos disueltos/dispersos en agua de mar se realizó según el manual y guía COI (1984) (25), con n-hexano, solvente en el cual estas son solubles, para leer posteriormente en el espectrofluorímetro a 360 nm.

Pretratamiento de las Muestras:

Una vez extraídas se congelaron de inmediato para evitar su descomposición. Inicialmente los organismos fueron desconchados y homogeneizados en un mortero de porcelana previamente lavado, almacenándolos en envases de vidrio, bajo refrigeración hasta su

posterior análisis.

Los sedimentos fueron sometidos a calentamiento en estufa a 105º C por 24 hrs., con la finalidad de eliminar todo el contenido de agua y analizarlos en base a su peso seco; luego de homogeneizarlos se almacenaron en envases de vidrio hasta su siguiente tratamiento.

Las aguas no requieren pretratamiento, siendo analizadas directamente desde la botella de extracción.

Tratamientos de las muestras:

Organismos

Luego de la homogenización con el mortero se pesaron 2 g de tejido húmedo saponificándolos con 15 ml de una solución 6 N de hidróxido de potasio por 18 hrs. a 30º C. El producto de la saponificación fué extraido dos veces con porciones de 25 ml de n-hexano en un embudo de decantación y posteriormente concentrado en un rotavapor a 35º C hasta 0.5 ml aproximadamente. El extracto fué eluído a través de una columna empacada con 1.15 g de óxido de aluminio adaptando para ello pipetas pasteur, agregando este a la columna y eluyendo con 8 ml de n-hexano, 10 ml de una mezcla 7:3 hexano:diclorometano y por último con 4 ml de diclorometano.

Las dos últimas fracciones (hidrocarburos aromáticos) se concentraron con flujo de nitrógeno transfiriéndolas cuantitativamente a viales de 2 ml. Los extractos anteriores fueron eluídos a través de una columna empacada con 0.5 g de sílica usando 12 ml de hexano y luego de llevar a sequedad con nitrógeno gaseoso, transferidas a viales de 2 ml.

Sedimentos

Luego de eliminar toda el agua se pesaron entre 25 a 50 g de

sedimento (peso seco) saponificándolos con 3 g de hidróxido de potasio en 100 ml de metanol por reflujo durante una hora y media. Fueron extraidos tras saponificar, los sedimentos dos veces con 25 ml de n-hexano en un embudo de decantación, eliminando la fase metanólica.

Las etapas siguientes de separación y limpieza son comunes a las realizadas en organismos.

Agua de Mar.

Cada muestra de 2.5 l fué extraida tres veces con alícuotas de 50 ml de n-hexano, agitando por 10 minutos con agitador de tipo paleta y dejando posteriormente durante tres a cuatro horas reposar para una mejor y más clara separación. Los extractos fueron juntados adicionándolos a continuación 3 g aproximadamente de sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua remanente. Se concentró en un rotavapor a 35º C y finalmente se transfirió cuantitativamente a viales de 2 ml.

Cuantificación de los Hidrocarburos Aromáticos.

La medición se realizó en un Espectrofluorímetro a 360 nm, (excitación a 310); utilizando un conjunto de estándares de criseno con los cuales se confeccionó una curva de calibración que cubría el rango comprendido entre 0.512 y 6.76 mg kg^{-1}, e interpolando en ella la concentración de la muestra. Los resultados se expresan en base a su peso húmedo en organismo y peso seco en sedimento.

Metales Pesados y Arsénico.

Antecedentes de los métodos:

El método de mineralización utilizado es el propuesto por UNEP (1982) (26) y complementado con la AOAC (1984) (27) y el método

publicado por Chernoff (28).

El proceso se basa en la destrucción de la materia orgánica por una digestión vía húmeda, debido a que los elementos a determinar tienden a sufrir pérdidas por volatilización al someter la muestra a destrucción por vía seca. Los metales a analizar se obtienen en solución, siendo fácilmente medidos por Espectrofotometría de Absorción Atómica en el caso de Pb, Cu, Cd y Hg, y fotocolorimetría en el caso de As.

Pretratamiento de las Muestras:

El pretratamiento para P. purpuratus y sedimentos es idéntico al ya señalado para el análisis de hidrocarburos. Con el fín de expresar los resultados de organismos en base a su peso seco se liofilizaron 5 g de tejido húmedo por 24 horas, se calcula la pérdida de agua por diferencia en peso, obteniéndose 1.36 g de tejido a partir de la muestra inicial.

Tratamiento de las Muestras:

Destrucción de la materia orgánica:

Se pesaron 5 g aproximadamente de la muestra pretratada colocándolos en un tubo de digestión junto a su respectiva réplica agregando 10 ml de ácido nítrico concentrado al tubo. El contenido de los tubos fué digerido en el bloque digestor, comenzando a 80º C y elevando la temperatura gradualmente para evitar la ebullición brusca y pérdida de ésta. Se continuó el calentamiento a 120-150º C durante cuatro a seis horas.

Tras retirar los tubos y enfriarlos a temperatura ambiente, se les adicionó 5 ml de una mezcla 3:2 ácido sulfúrico concentrado: ácido

perclórico concentrado, elevando la temperatura a cerca de 340º C durante dos horas, tiempo duante el cual la solución se torna clara e incolora. Se continuó la ebullición hasta la aparición de vapores o humos blancos de SO_3, indicación de ausencia de ácido nítrico en los tubos. Tras enfriar los tubos, se diluyó y se filtró enrazando a 100 ml.

Cada set de muestras fué acompañada de una solución blanco.

Cuantificación de los Metales:

Las siguientes condiciones experimentales fueron empleadas para la medición directa de Pb, Cu, y Cd en solución acuosa.

	Pb	Cu	Cd	Mo	Ag
Longitud de onda (nm)	283.3	324.7	228.8	313.3	253.6
Slit (nm)	0.7	0.7	0.7	0,7	0,7
Corriente de la Lámpara (mA)	12	30	8		
Flujo de aire (l/min)	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7

La concentración de la muestra se determinó en una curva de calibración construida en los siguientes rangos:

Plomo : 0.8 - 2.4 mg kg^{-1} 1 ppm → 10 ppm

Cobre : 0.2 - 3 mg kg^{-1}

Cadmio: 0.2 - 1.2 mg kg^{-1}

El análisis de mercurio se resume en los siguientes pasos:

- Agregar al matráz de reacción:

  5 ml de solución muestra

  50 ml de agua destilada

  4 ml de ácido sulfúrico conc.

U. DE VALPARAISO
BIBLIOTECA
COORD. GEN. C 3 BAS

6 ml solución reductora. (Clorhidrato de hidroxilamonio 2% p/v,
Sulfato de hidracinio 1% p/v,
Cloruro de estaño II 3% p/v).

- Dejar reaccionar por un minuto.
- Arrastrar con nitrógeno.
- Leer la altura máxima del pick bajo las siguientes condiciones:

	Hg
Longitud de onda	253.6 nm
Slit (nm)	0.7
Corriente de la lámpara (mA)	10
Flujo de nitrógeno (l/min)	0.330

- La concentración de la muestra se determina en una curva de calibración que cubre el rango: 0.4 - 1 ug.

La presencia de As en la solución, se determinó convirtiéndolo en arsenamina y complejándola del modo siguiente:

- A un matráz de reacción que contiene 25 ml de la solución (digesto), se adicionó:

10 ml de agua destilada
5 ml de ácido clorhídrico conc.
0.5 ml de agua brominada
2 ml de ioduro de potasio 15%
0.4 ml de cloruro de estaño II 40% p/v en ácido clorhídrico

- La mezcla se mantuvo en reposo durante 30 minutos, tras lo cual se introdujo un algodón impregnado en acetato de plomo saturado (Fig. 5). A continuación se agregó 3 g de zinc en polvo y se selló el sistema, dejando generar el gas por 120 minutos, y recogiendo en 4 ml de una solución de Dietílditiocarbamato de plata en piridina (0.5

g en 100 ml de piridina). La absorvancia de la solución coloreada fue leída a 540 nm, determinando la concentración de las muestras por interpolación en una curva de calibración en el rango: 2 - 5 ug.

3.6 Configuracin Computacional.

El procesamiento estadístico aplicado a los datos obtenidos se ha llevado a cabo mediante el uso del computador y software que se indican:

Equipos: Computador IBM / PS-25

- Sistema operativo DOS - 3.30
- Velocidad de Proceso 10.8 megahertz
- Capacidad de Memoria principal 640 kilobyte
- Unidad de Almacenamiento disquetera de 3.5 pulgadas (720 KB)
  Disco duro de 20 megabyte

Impresora MITAC, SX-130

- Velocidad de impresión 120 C.P.S. (caract. por seg.)

Software: Lotus 123; Release 2 (planilla electrónica y módulo graficador).

4. RESULTADOS

RESULTADOS

4.1 Hidrocarburos aromáticos derivados del petróleo.

La concentración de hidrocarburos de los distintos componentes analizados se encuentra en los rango, que se indican a continuación.

- Agua de Mar : 0.262 - 162 ug dm^{-3}
- P. purpuratus: 1.59 - 180 mg kg^{-1} (p.húmedo).
- Sedimentos : 0.116 - 1.27 mg kg^{-1} (p.seco).

Los resultados obtenidos en el análisis de Hidrocarburos aromáticos derivados del petróleo disueltos/dispersos en agua de mar muestran que se presentó en junio la más alta concentración de hidrocarburo en todas las estaciones a excepción de la Estación 7 (Fig. 6). En la Estación 7 en cambio, la mayor concentración se alcanzó en julio, siendo en dicho mes el mayor contenido en la Estación 1, seguida de las Estaciones 2 y 4 respectivamente. En el mes siguiente se aprecia una considerable disminución de la concentración de hidrocarburos en la mayoría de las estaciones muestreadas, destacándose este descenso principalmente en las Estaciones 1 y 2, a diferencia de un leve aumento en la Estación Nº 7 (Fig.7). En septiembre de 1989 la disminución es aún más notoria, con valores cercanos a cero desde la Estación 5 en adelante. En mayo, mes anterior al de más alto índice, el contenido de hidrocarburos en todas las estaciones medidas fué cercano a cero.

Con respecto al contenido de hidrocarburos en tejidos de los organismos estudiados (P. purpuratus), los valores registrados en julio corresponden a las más altas concentraciones siendo la Estación 6 la de mayor índice, luego la Estación 8 y finalmente la Estación Nº 1 (Fig.8). En el mes de septiembre los valores disminuyeron

abruptamente, manteniéndose constantes hasta noviembre en todas las estaciones.

También en el caso de organismos se observaron contenidos pequeños de hidrocarburos para todas las estaciones en el mes de mayo.

Los resultados de los análisis de hidrocarburos en sedimentos muestran contenidos bajos de estos, destacándose por sobre el resto de las estaciones la Nº5, que presentó en septiembre el más alto valor, disminuyendo en noviembre (Fig.9). Se debe destacar que el rango de concentración en sedimentos encontrado es estrecho, el que fluctúa entre 0.1 - 1.3 mg kg^{-1}.

TABLA 1: HIDROCARBUROS EN AGUA DE MAR
Bahia de Quintero - 1989

CONCENTRACION ug dm^{-3}

ESTACION	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1	1.34	162	90.3	--	30.2
2	--	113	65.5	--	14.2
3	--	68.5	47.6	--	15.1
4	0.860	79.9	--	--	21.6
5	0.540	41.2	--	--	1.81
6	0.890	65.5	--	--	0.26
7	5.15	68.0	77.5	--	1.94
8	0.660	--	88.6	--	--

TABLA 2: HIDROCARBUROS EN P. purpuratus
Bahia de Quintero - 1989

CONCENTRACION mg kg^{-1} (p.humedo)

ESTACION	MAY	JUL	SEP	NOV
1	1.59	25.6	26.0	2.80
6	38.6	180	11.1	2.35
8	21.6	74.1	9.54	5.17

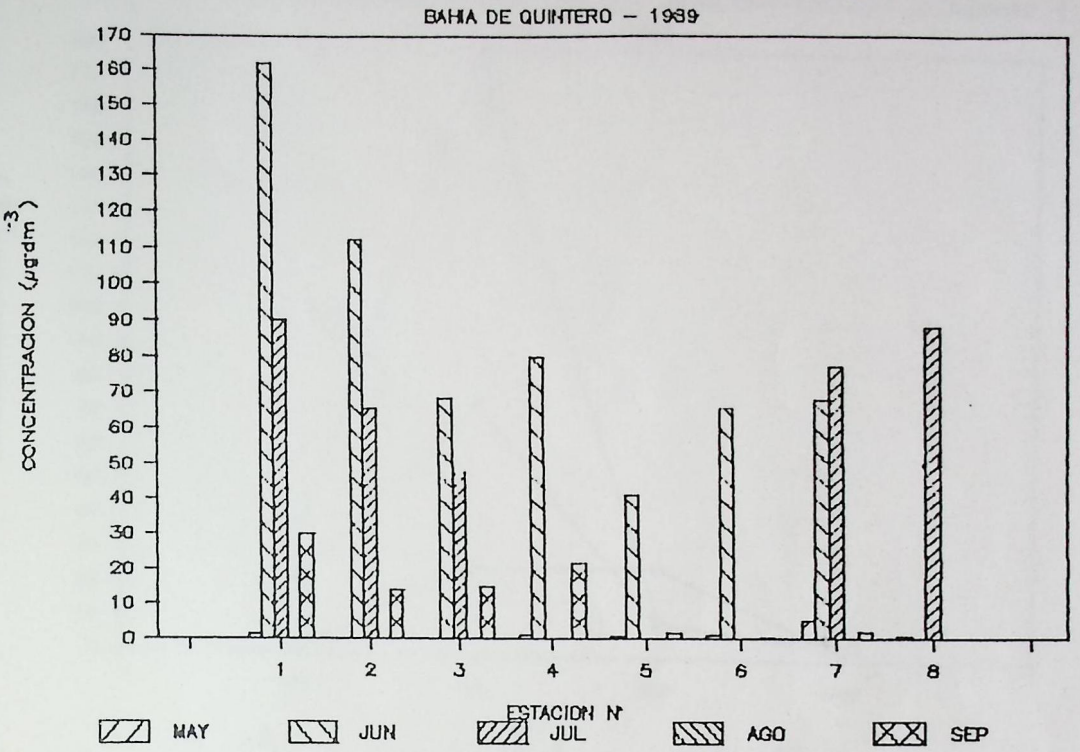
TABLA 3: HIDROCARBUROS EN SEDIMENTO
Bahia de Quintero - 1989

CONCENTRACION mg kg^{-1} (p.seco)

ESTACION	MAY	JUL	SEP	NOV
2	0.821	0.327	0.639	0.246
3	0.342	0.311	0.289	0.384
5	0.518	0.420	1.27	0.201
7	0.265	0.760	0.312	0.116

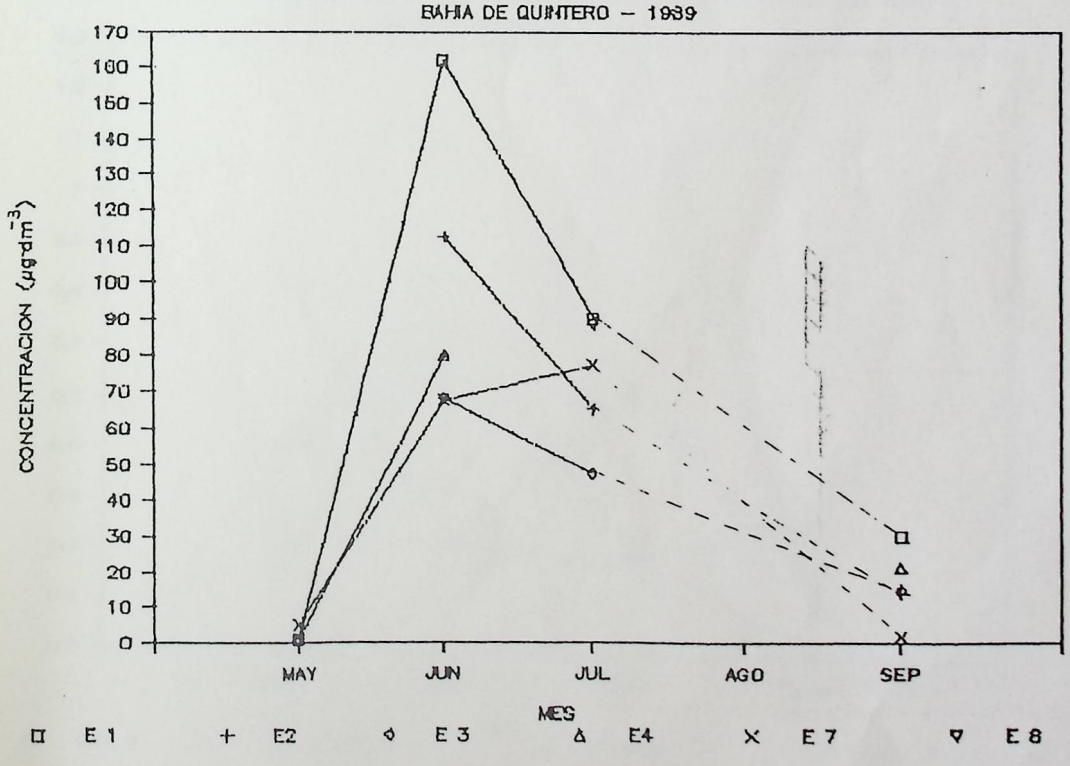
COMPARACION ENTRE ESTACIONES PARA LOS DISTINTOS MESES

FIG 6: HIDROCARBUROS EN AGUA DE MAR



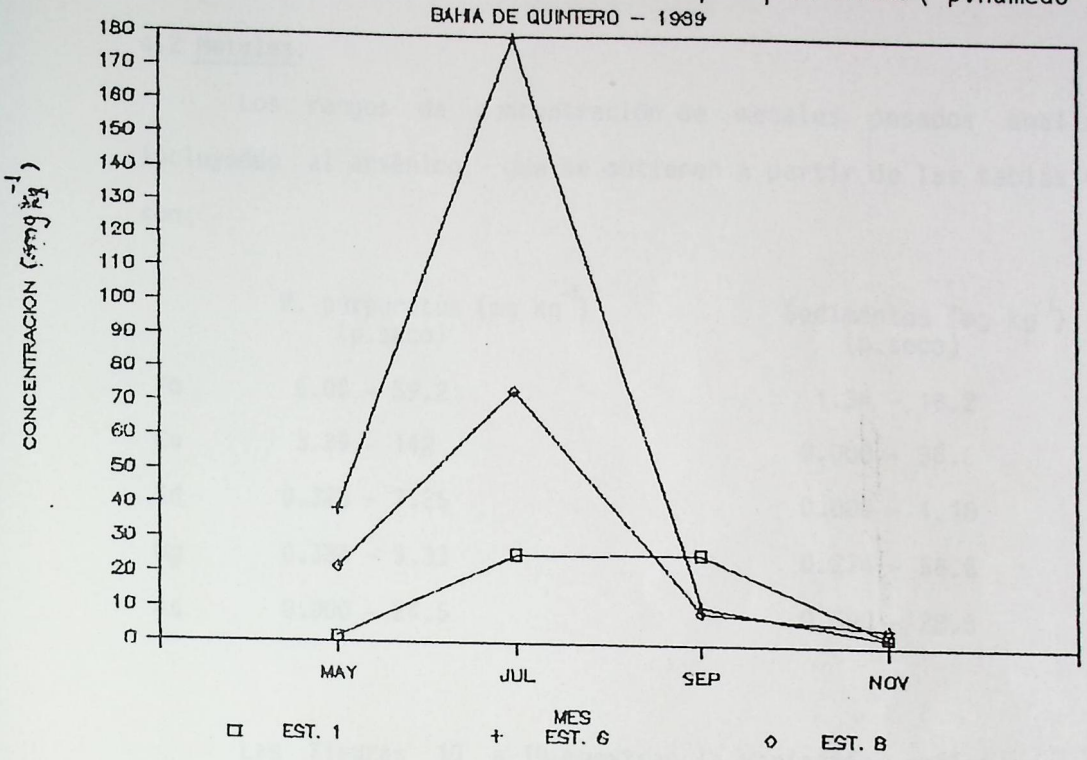
VARIACION TEMPORAL DE

FIG 7: HIDROCARBUROS EN AGUA DE MAR



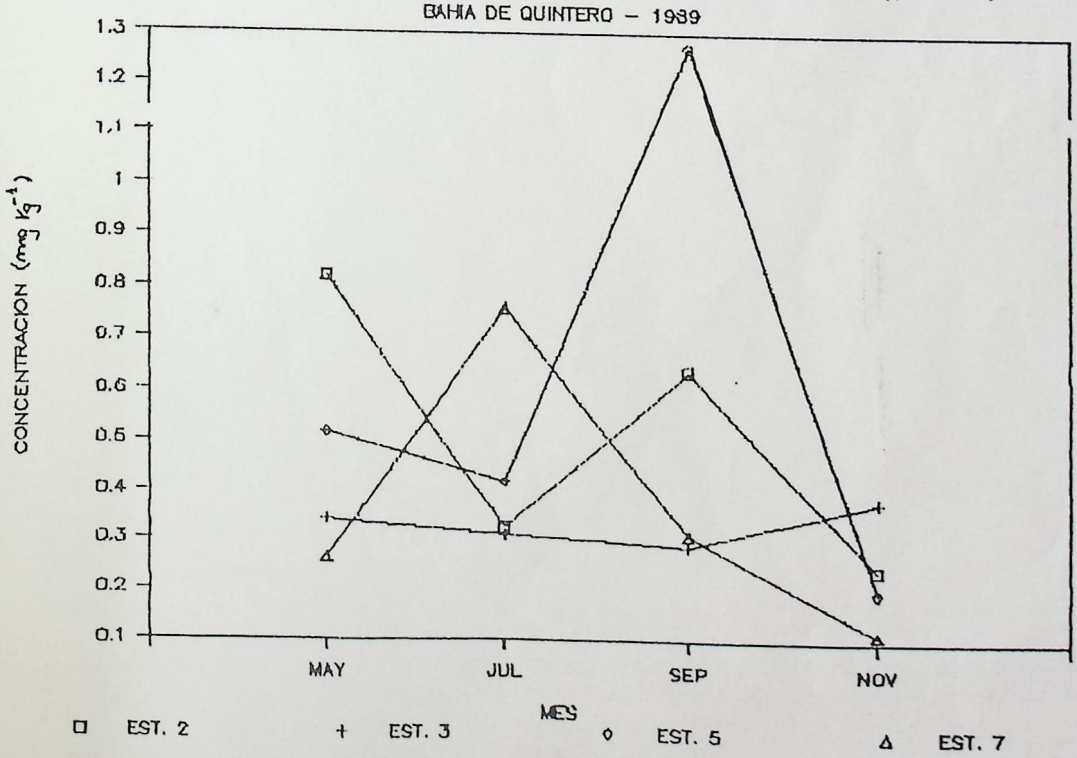
VARIACION TEMPORAL DE

FIGURA 8: HIDROCARBUROS EN P. purpuratus (p.húmedo)



VARIACION TEMPORAL DE

FIGURA 9: HIDROCARBUROS EN SEDIMENTO (p.seco)



4.2 Metales.

Los rangos de concentración de metales pesados analizados, incluyendo al arsénico, que se obtienen a partir de las tablas 4 y 5 son:

	P. purpuratus (mg kg^{-1}) (p.seco)	Sedimentos (mg kg^{-1}) (p.seco)
Pb	5.00 - 59.2	1.34 - 18.2
Cu	3.39 - 142	0.000 - 36.6
Cd	0.328 - 7.25	0.000 - 1.18
Hg	0.334 - 9.33	0.274 - 56.6
As	0.000 - 24.5	0.590 - 28.6

Las Figuras 10 a 19 muestran la variación registrada en la concentración de plomo, cobre, cadmio, mercúrico y arsénico tanto en organismos filtradores (P. purpuratus) como en sedimentos de la bahía de Quintero.

TABLA 4: PLOMO - COBRE - CADMIO - MERCURIO - ARSENICO
EN P. purpuratus
Bahia de Quintero - 1989

CONCENTRACION mg kg^{-1} (p.seco)

MAYO ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
1	9.02	96.4	2.84	--	7.24
6	* 6	131	1.80	--	* 5
8	* 6	59.6	2.42	--	* 5

JULIO ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
1	* 7	23.0	* 2	2.39	* 7
6	* 7	31.0	* 2	3.22	* 7
8	* 7	3.99	7.25	1.02	7.38

AGOSTO ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
1	21.0	119	4.24	0.579	4.94
6	19.4	142	3.47	0.334	* 2
8	13.6	55.6	2.37	0.595	6.12

SEPT. ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
1	* 5	45.6	1.68	1.41	12.9
6	* 5	49.0	2.26	3.13	4.38
8	* 5	41.2	1.15	1.21	24.5

OCT. ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
1	12.0	17.8	1.61	9.33	6.74
6	27.8	30.0	2.28	2.54	* 5
8	59.2	24.6	2.74	7.33	6.66

NOV. ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
1	5.02	29.1	2.40	2.89	0.00
6	10.5	58.6	0.328	5.88	4.61
8	17.4	34.2	0.758	1.42	4.60

nota : * indica menor que.

M=18

$\bar{X}$ 13,49 55,09 2,42 2,88

TABLA 5 : PLOMO - COBRE - CADMIO - MERCURIO - ARSENICO EN SEDIMENTO.
Bahia de Quintero - 1989

CONCENTRACION mg kg^{-1} (p.seco)

MAYO ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
2	3.74	20.9	0.024	--	1.32
3	2.53	33.4	0.145	--	24.0
5	2.54	14.7	0.024	--	19.0
7	--	--	--	--	--

JULIO ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
2	18.2	10.6	0.000	6.50	4.00
3	4.78	13.7	0.000	3.36	5.98
5	7.16	4.84	0.000	5.57	11.9
7	3.83	0.000	0.000	5.12	5.59

AGOSTO ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
2	4.56	34.5	0.424	4.02	1.95
3	4.32	30.1	0.453	19.1	0.989
5	4.32	17.2	0.396	1.69	1.32
7	2.57	12.0	0.461	8.35	0.994

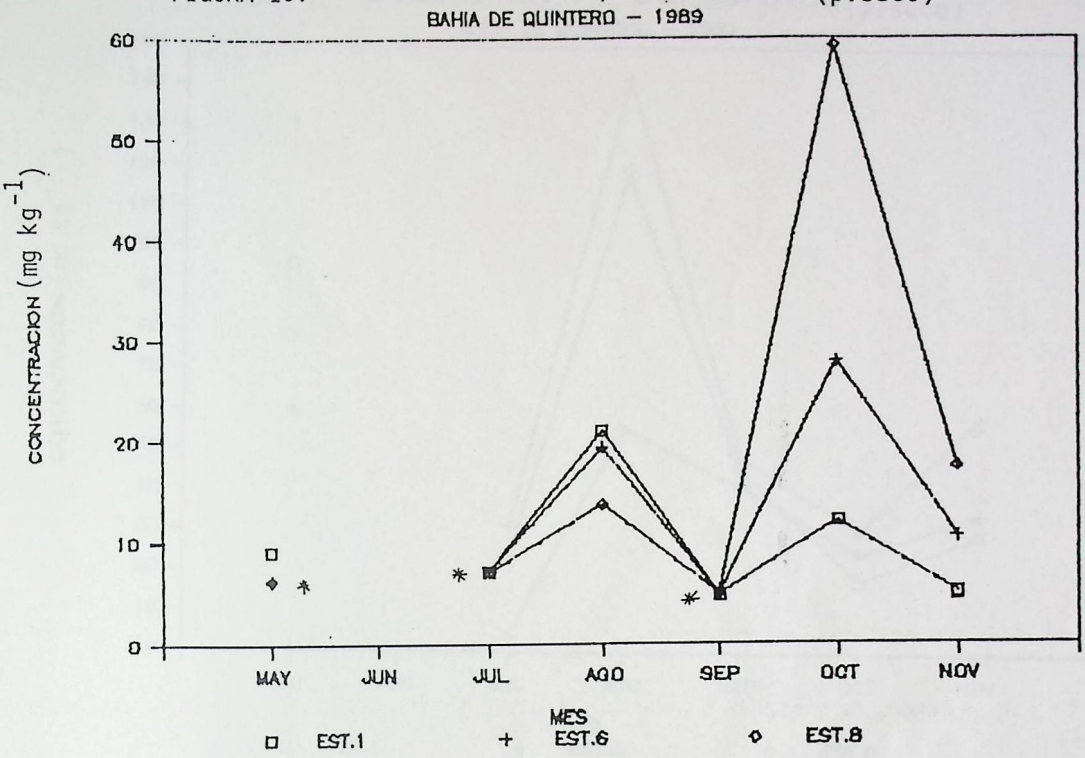
SEPT. ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
2	2.59	36.6	0.652	6.36	13.5
3	3.87	29.4	0.449	1.61	17.6
5	3.28	14.2	0.735	1.92	2.95
7	6.28	18.6	1.18	1.70	11.9

OCT. ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
2	5.87	4.25	0.141	56.6	28.6
3	4.50	8.35	0.308	32.9	5.36
5	2.71	1.41	0.282	15.0	10.1
7	4.97	1.78	1.08	9.74	1.79

NOV. ESTACION	Pb	Cu	Cd	Hg	As
2	4.83	7.25	0.547	0.274	15.1
3	1.34	6.83	0.672	0.353	1.18
5	3.54	4.42	0.307	0.335	1.76
7	3.35	1.51	0.333	0.420	0.590
	M=23	M=22	M=19	M=20	
	$\bar{x}$=4,59	$\bar{x}$=14,84	$\bar{X}$=0,45	$\bar{X}$=9,04	
			Σ=8,613	Σ=180,922	

VARIACION TEMPORAL DEL CONTENIDO DE

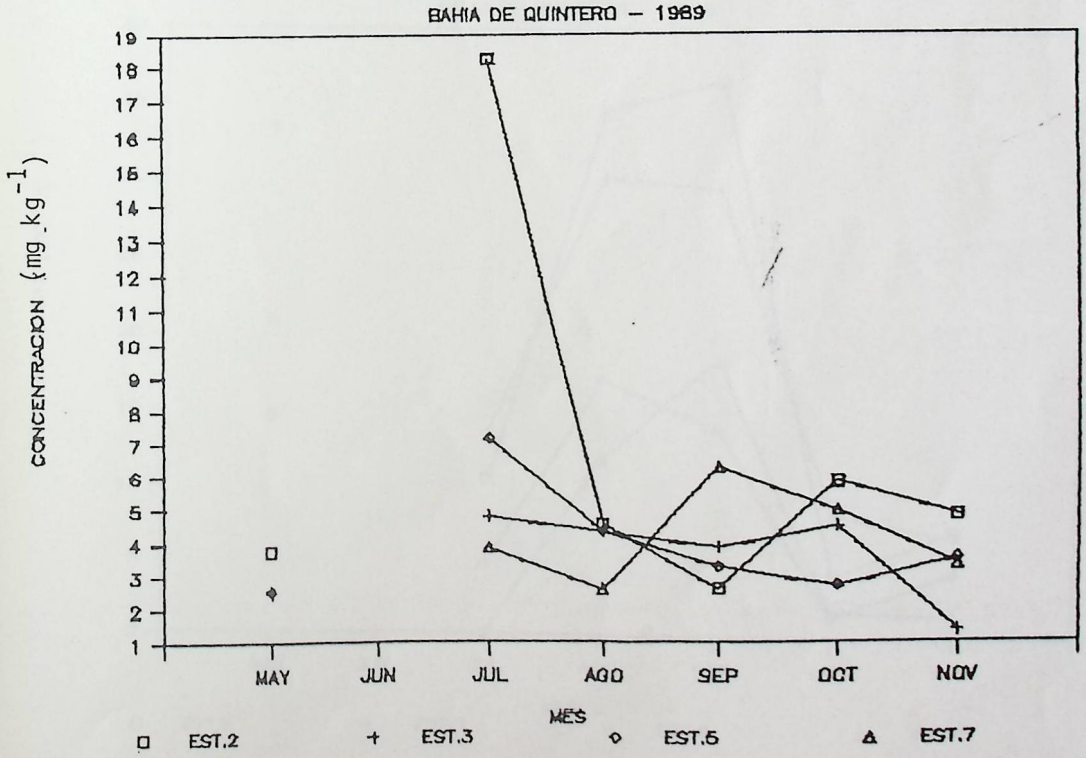
FIGURA 10: PLOMO EN P. purpuratus (p.seco)



* Valor máximo posible.

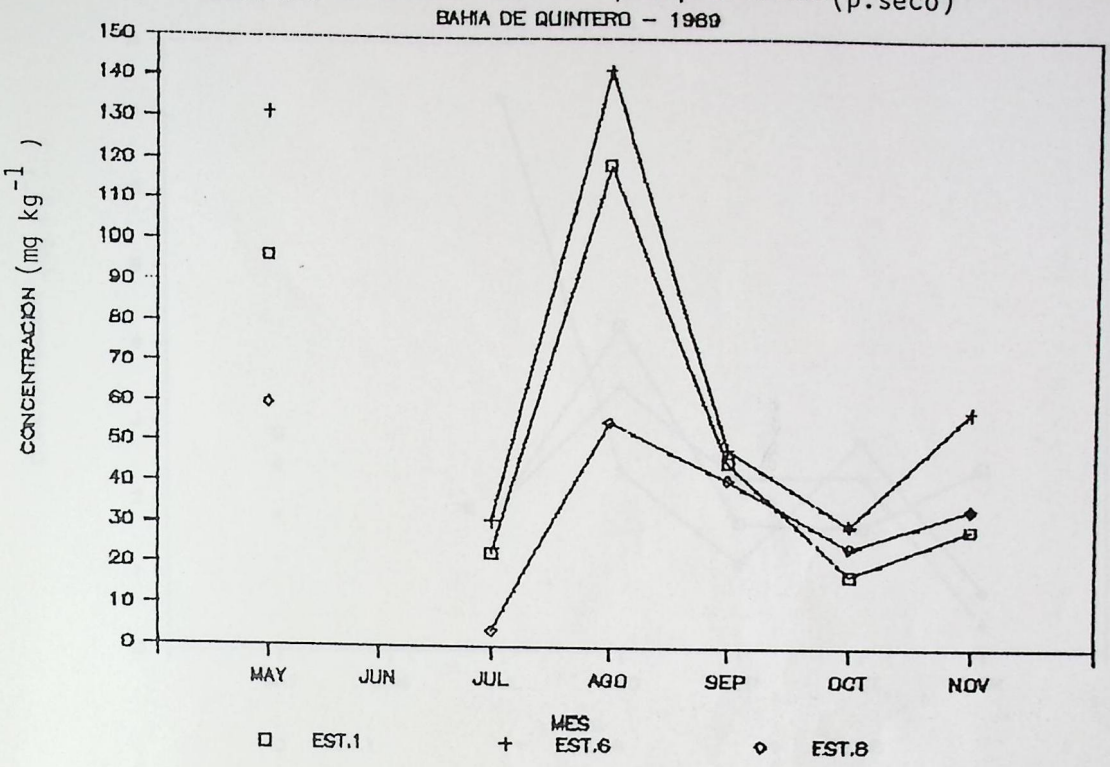
VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE

FIGURA 11: PLOMO EN SEDIMENTOS (p.seco)



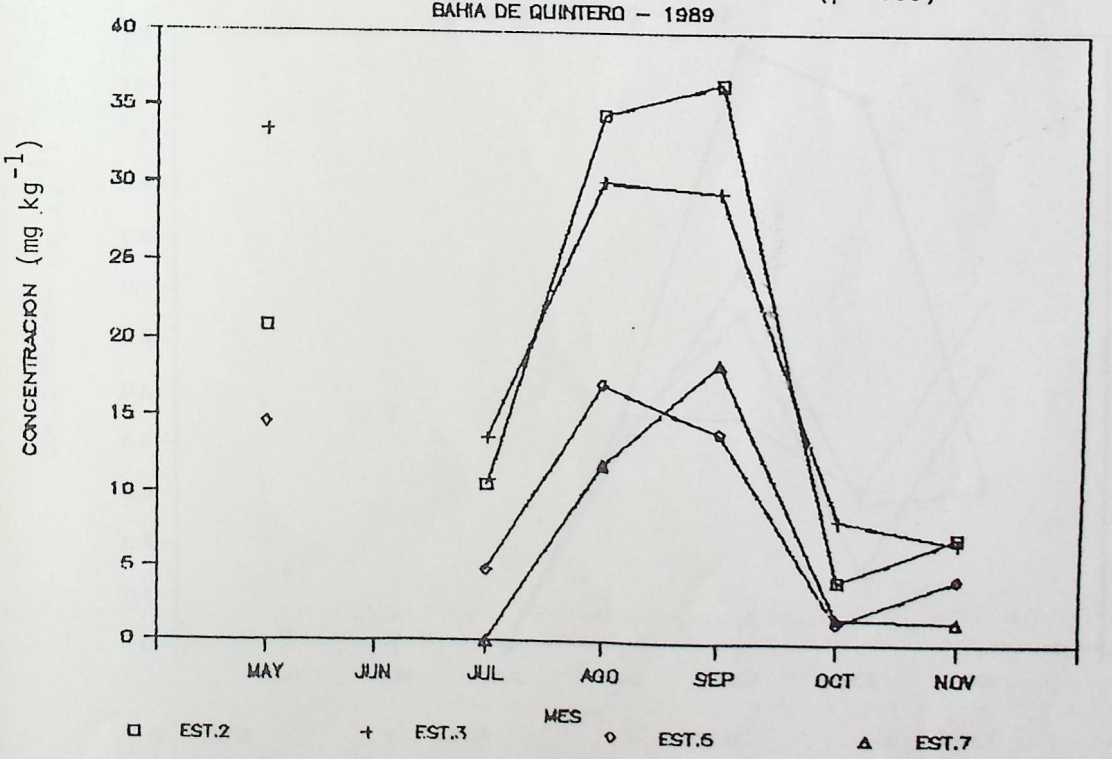
VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE

FIGURA 12: COBRE EN P. purpuratus (p.seco)



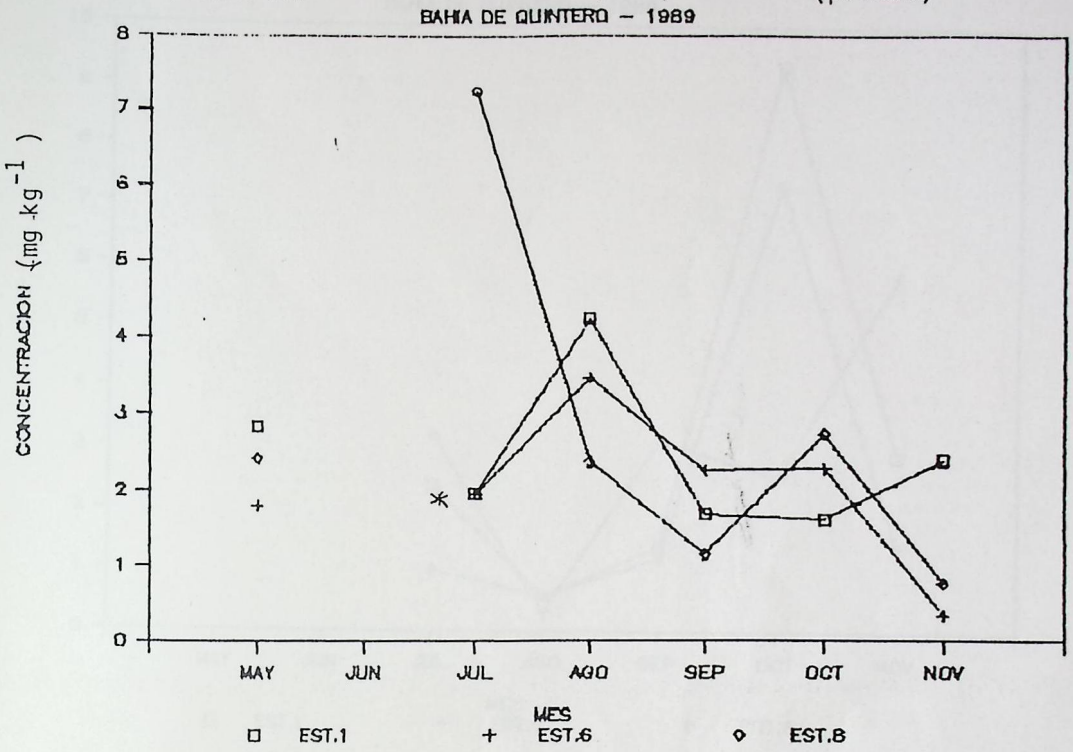
VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE

FIGURA 13: COBRE EN SEDIMENTOS (p.seco)



VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE

FIGURA 14: CADMIO EN P. purpuratus (p.seco)



* Valor máximo posible.

VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE

FIGURA 15: CADMIO EN SEDIMENTOS (p.seco)

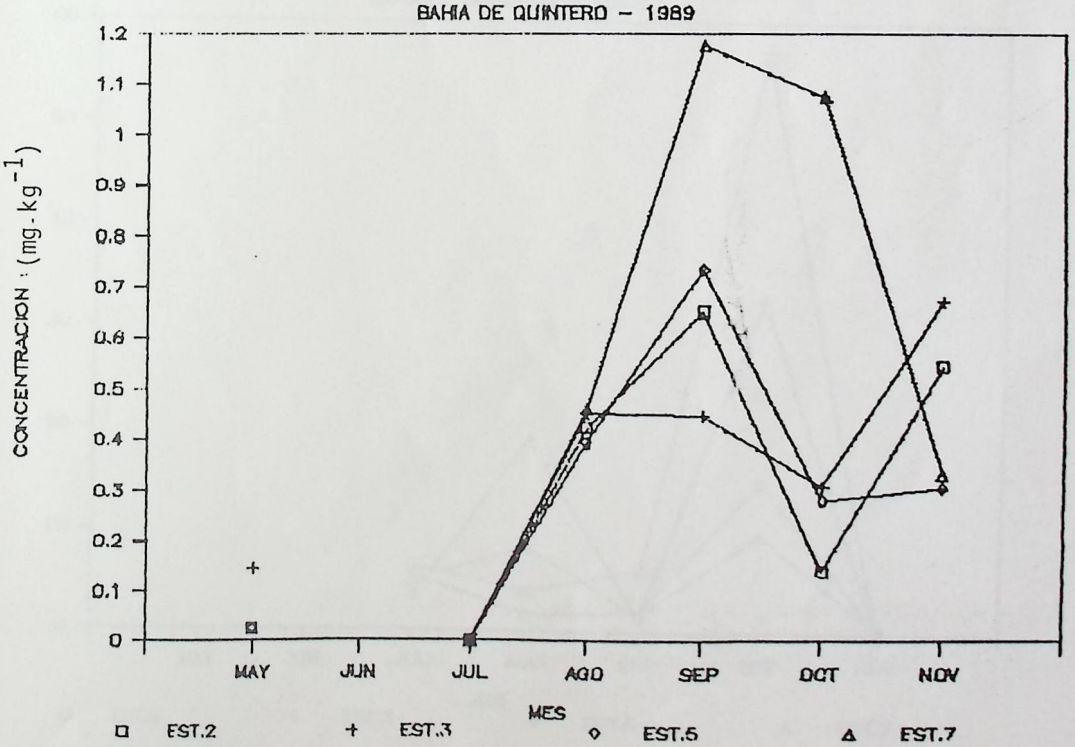


FIGURA 16: VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE MERCURIO EN P. purpuratus (p.seco)

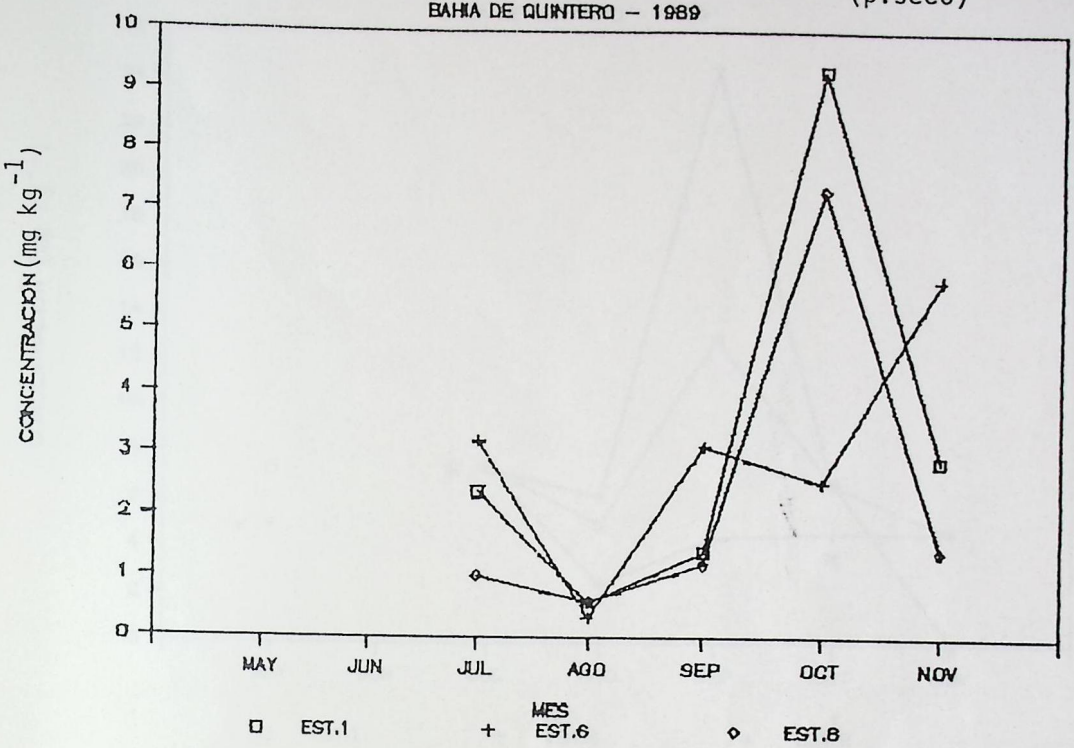
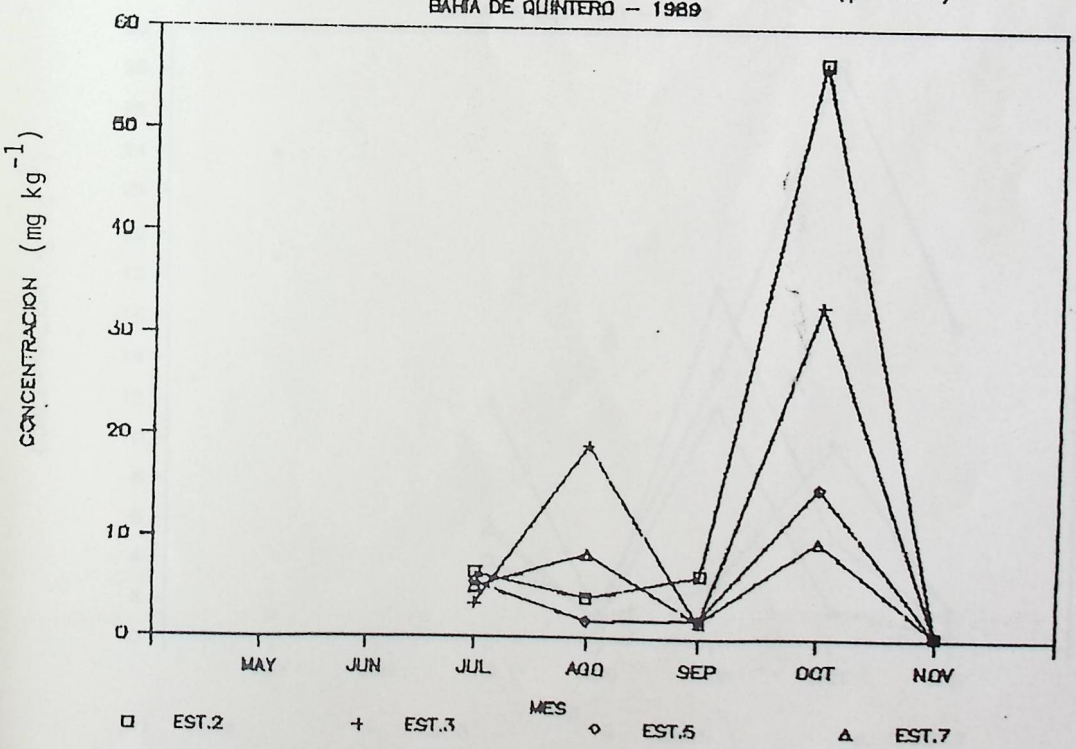
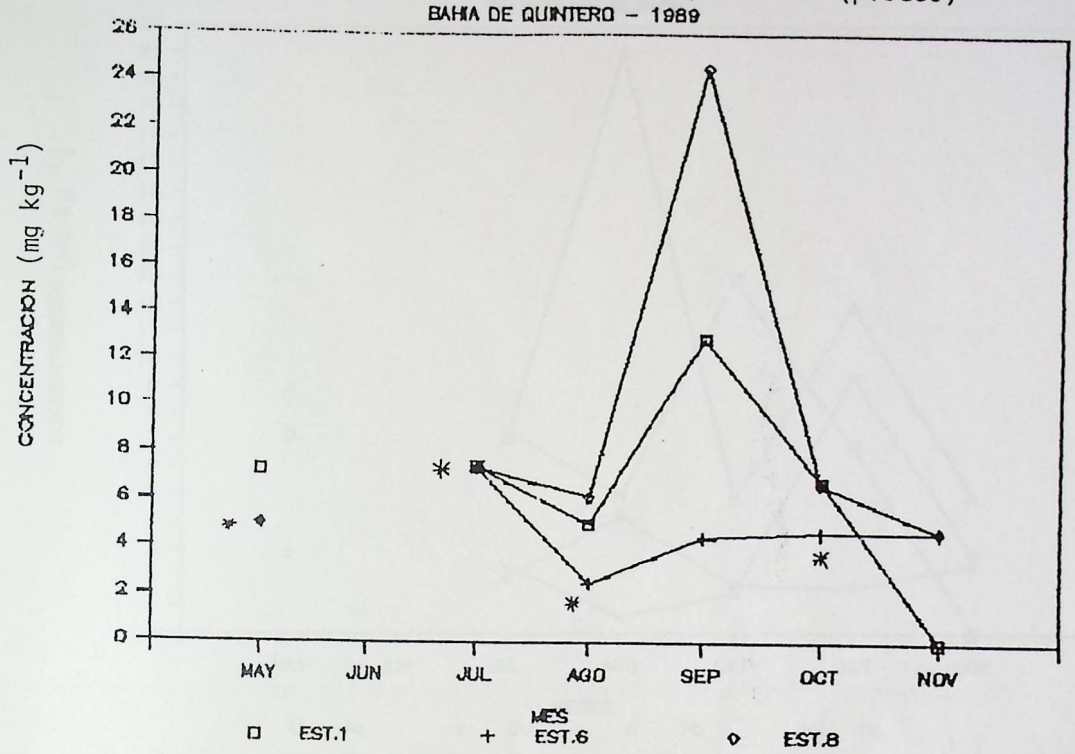


FIGURA 17: VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE MERCURIO EN SEDIMENTOS (p.seco)



VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE

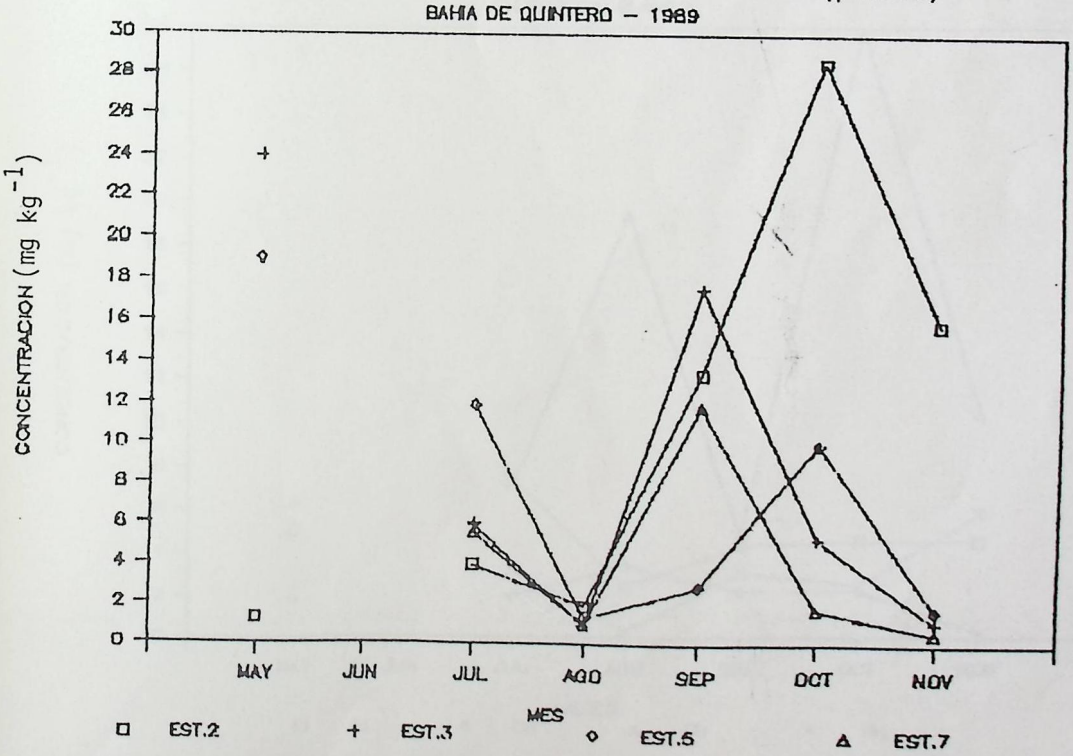
FIGURA 18: ARSENICO EN P. purpuratus (p.seco)



* Valor máximo posible.

VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE

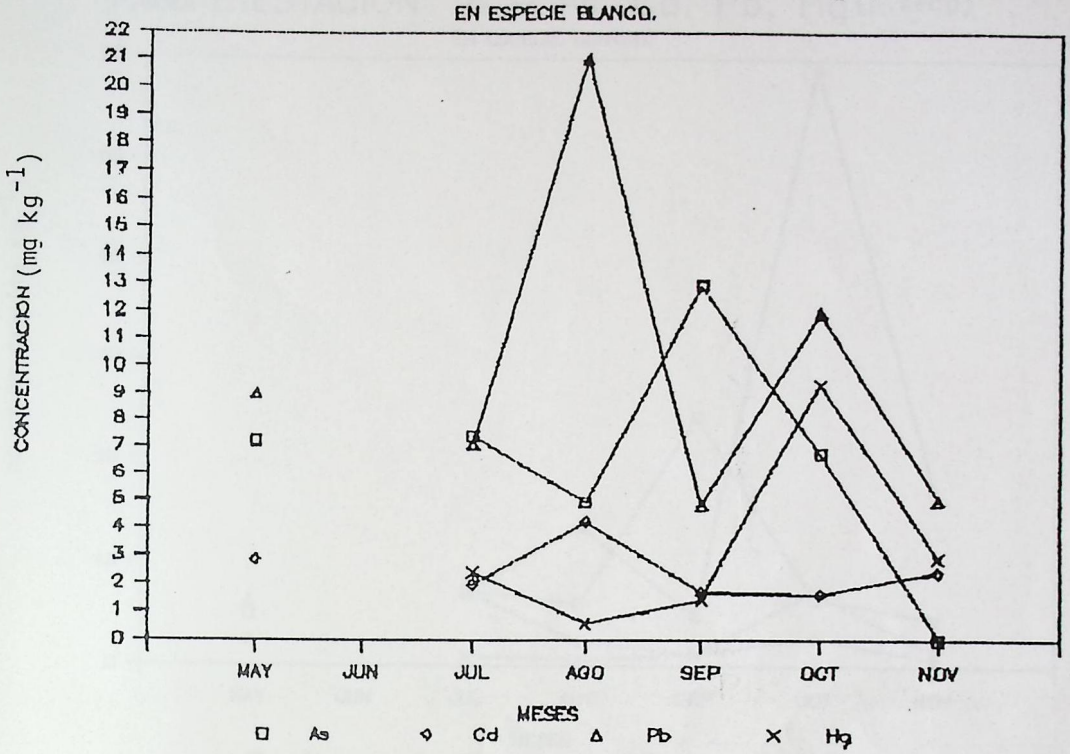
FIGURA 19: ARSENICO EN SEDIMENTOS (p.seco)



VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE

FIGURA 20: ESTACION 1 — As, Cd, Pb, Hg(p.seco)

EN ESPECIE BLANCO.



VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE

FIGURA 21ESTACION 6 — As, Cd, Pb, Hg(p.seco)

EN ESPECIE BLANCO.

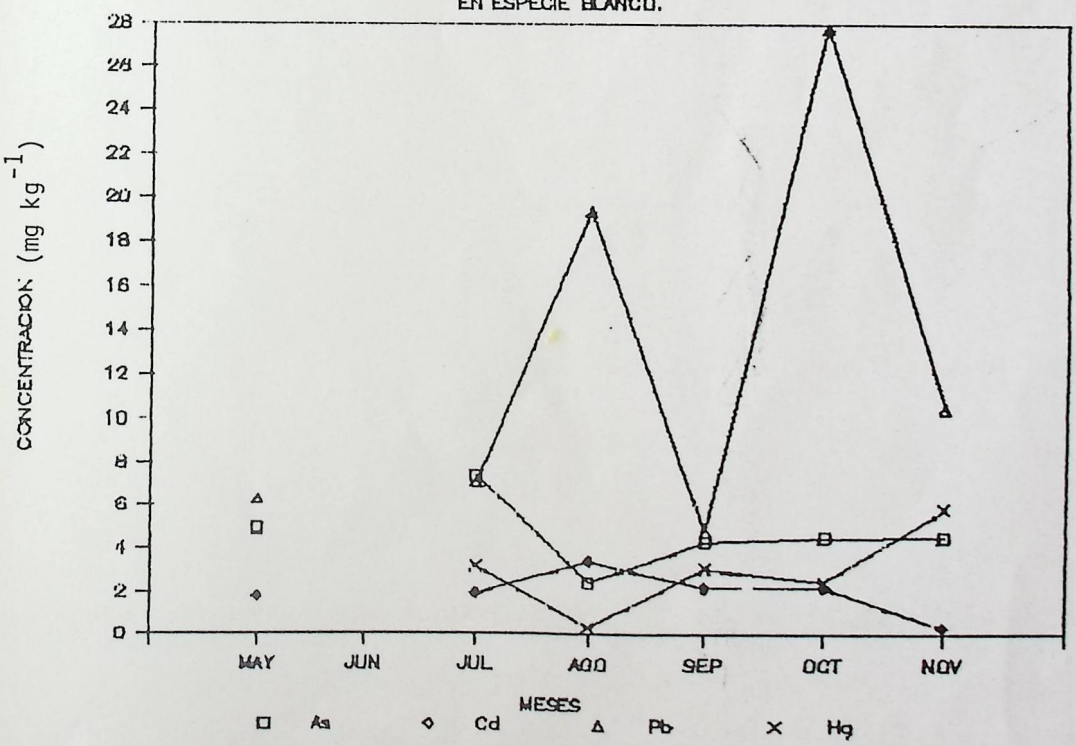


FIGURA 22: VARIACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACION DE ESTACION 8 — As, Cd, Pb, Hg (p.seco) EN ESPECIE BLANCO.

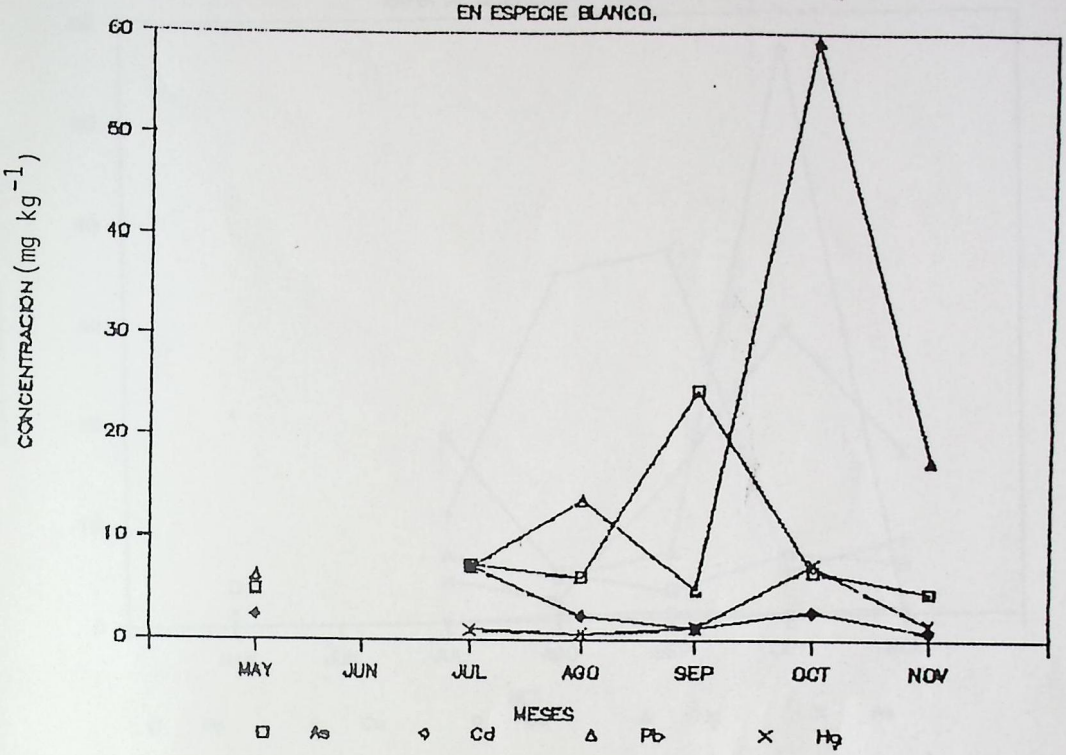


FIGURA 23

SEDIMENTO ESTACION 2: Pb—Cu—Cd—Hg—As (p.seco)

BAHIA DE QUINTERO – 1989

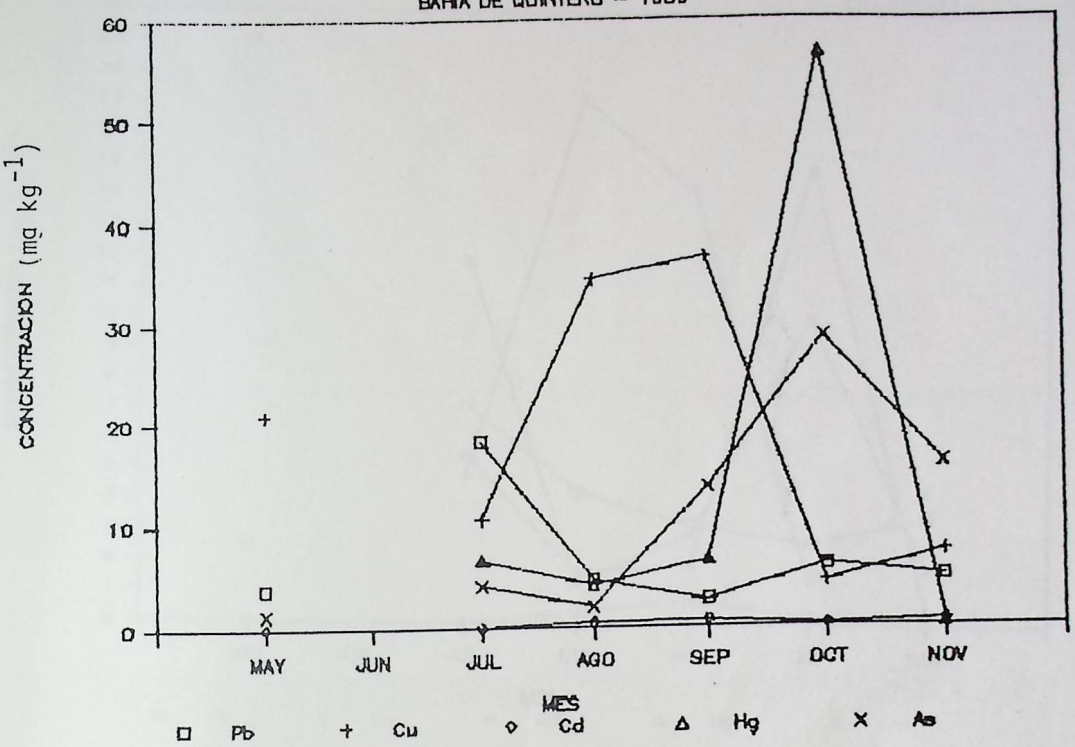


FIGURA 24

SEDIMENTO ESTACION 3: Pb—Cu—Cd—Hg—As (p.seco)

BAHIA DE QUINTERO – 1989

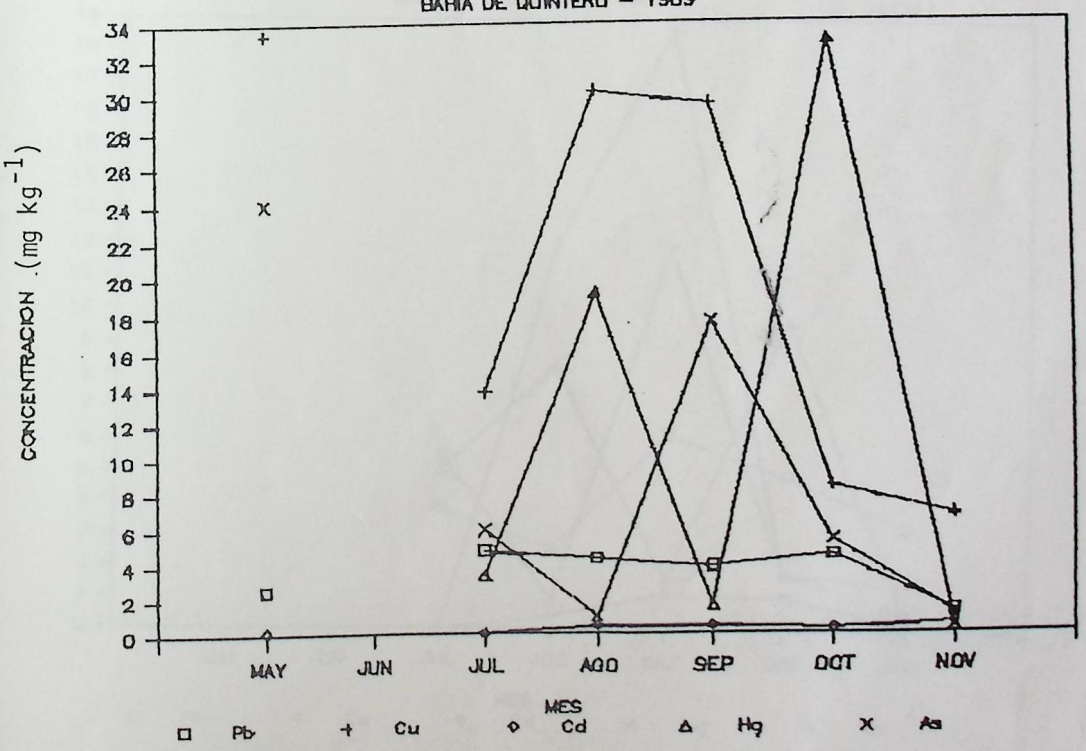


FIGURA 25

SEDIMENTO ESTACION 5: Pb—Cu—Cd—Hg—As

BAHIA DE QUINTERO – 1989 (p.seco)

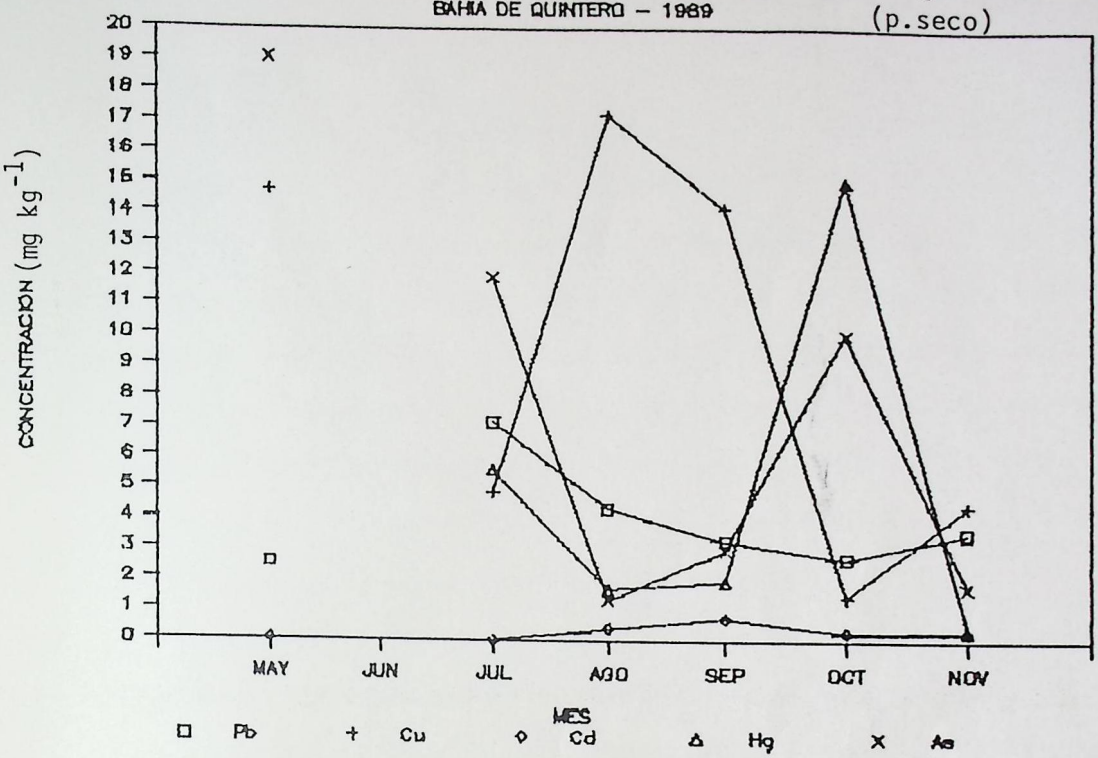
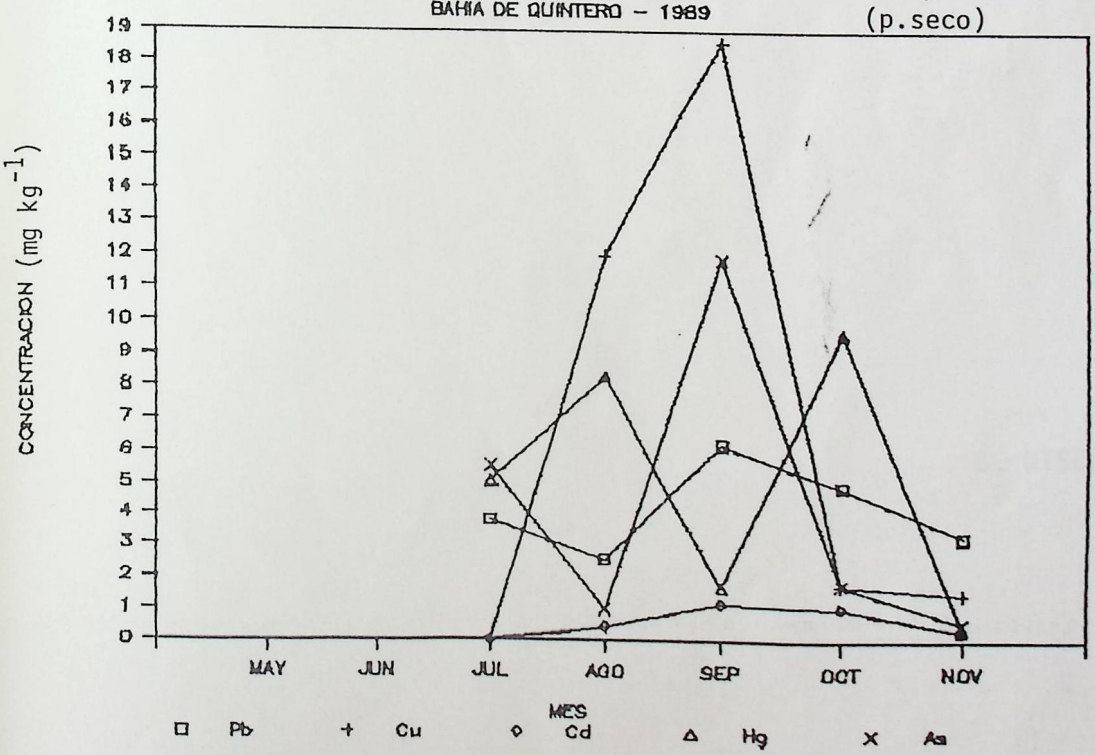


FIGURA 26

SEDIMENTO ESTACION 7: Pb—Cu—Cd—Hg—As

BAHIA DE QUINTERO – 1989 (p.seco)



5. DISCUSION

DISCUSION.

5.1 Hidrocarburos.

Se atribuyó el carácter de foco emisor de hidrocarburos a las industrias que se encuentran en el sector norte de la bahía; para confirmarlo fué necesario analizar las concentraciones que registraban las estaciones de muestreo de agua, organismos y sedimentos cercanas a esta área y determinar si estas presentaban una concentración alta, y si a medida que se alejaban del foco contaminante esta concentración disminuía. Las concentraciones de las Estaciones 4, 3 y 5 para muestreo de agua (Fig. 3) reflejaron que a mayor distancia de las industrias, la concentración de hidrocarburos disminuía en ellas.

En cambio, la concentración en la Estación 1 de muestreo de organismos, a pesar de ser la más cercana fué la de menor concentración frente al resto de las estaciones; igual comportamiento presentaron los sedimentos, por lo tanto no se puede atribuir a estas fuentes industriales la presencia de los hidrocarburos detectados en la bahía de Quintero.

La razón del brusco aumento en la concentración de hidrocarburos ocurrido después de mayo (principalmente visualizado en agua y organismos), correspondió a un derrame ocurrido en el medio de la bahía de Quintero (monoboya de la RPC) de 350 l de petróleo crudo con fecha 29 de mayo de 1989 por el BT. OBO MAKEDONIA STAR. Se debe tener presente que en dicho mes la toma de muestra se realizó un día antes, (28 de mayo).

La ubicación del barco en el momento del derrame era cercana a las Estaciones Nº 1 y 2 para muestreo de hidrocarburos en agua de mar, las que presentaron las mayores concentraciones de hidrocarburos

(Fig. 6). Debido a las corrientes propias de esta área (Anexo 1), el petróleo se habría desplazado hacia las Estaciones 5 de sedimentos, 6 y 8 de organismos; lo que se verificó a través de las mediciones realizadas.

Por otra parte, si se compara la capacidad de concentración de hidrocarburos en los tres tipos de muestras, los valores encontrados en tejidos de organismos reflejan de manera manifiesta su capacidad de bioacumulación. De igual forma, su capacidad de metabolizar y excretar sustancias alterógenas permite disminuir los valores de contaminación en hidrocarburos en los meses siguientes.

Finalmente, comparando la magnitud de concentración de hidrocarburos en las diferentes muestras, la más alta se presenta en organismos, seguida de sedimento y agua de mar. Aún así, en ella sus valores son elevados en relación a los encontrados en otros estudios realizados en el país.

Comparando el rango obtenido para concentraciones de hidrocarburos en agua de mar en la bahía de Quintero con aquellos reportados por otros autores (Anexo 2), se comprueba que el máximo observado (162 ug dm^{-3}) es muy superior a otros resultados registrados en Chile, donde Valparaíso en 1985 (31) presenta un máximo de 66.0 ug dm^{-3} como consecuencia del derrame producido por el terremoto de es año. En cuanto al mínimo (0.262 ug dm^{-3}), está dentro de los valores de base encontrados en aguas litorales de Chile Central y Norte.

Para organismos, el rango obtenido es de 1.59 - 180 mg kg^{-1}. Al comparar estos valores con aquellos consignados en el Anexo 3, se aprecia que el máximo observado es superior a los registrados previamente en Chile, siendo el valor más cercano en P. purpuratus de la bahía de Quintero con 104.0 mg kg^{-1}, en el año 1986 (36), luego de un

derrame producido por ENAMI en ese año. El mínimo en cambio, está dentro de los valores encontrados en el país.

En sedimentos, los resultados van entre 0.116 - 1.27 mg kg^{-1}, inferiores a los encontrados en el resto del país según se aprecia en el Anexo 4, destacando que el valor máximo hallado es en el Estrecho de Magallanes (37), con 1859.9 mg kg^{-1}, con posterioridad al derrame del BT Metula ocurrido en 1973.

Con respecto a valores encontrados en paises del Pacífico Sudeste, (Anexo V), se tiene que el máximo contenido de hidrocarburos en agua de mar es de 162 ug dm^{-3}, superado únicamente en Ecuador, en que Manta en 1984 (39), presenta 184.0 ug dm^{-3}, Ancón Posorja en 1985 (39), con 420 ug dm^{-3}, bahía Sta. Elena en 1985 (39), con 900 ug dm^{-3} y finalmente Puerto Bolivar con 1310.0 ug dm^{-3} en 1985 (39).

No se tiene mayor información sobre el contenido de hidrocarburos en organismos en otros paises, exeptuando en Colombia (Anexo VI), donde se han citado valores menores al máximo determinado en esta investigación.

Finalmente, en sedimento (Anexo VII) se encuentran valores superiores a 1.27 mg kg^{-1} determinados en Quintero, como es el caso de Tumaco en Colombia en 1987 (39), el que presenta un máximo de 1.42 mg kg^{-1}; Ecuador (44) con 2.06 mg kg^{-1} y por último Panamá con 16.0 mg kg^{-1}, el cual también tiene un valor bajo significativo (38).

5.2 Metales

- Plomo:

P. purpuratus (Fig. Nº10)

En el análisis de Pb en organismos se observó que en octubre se

encuentran las concentraciones más altas, en un orden decreciente en las Estaciones 8, 6 y 1, disminuyendo en noviembre debido a su capacidad de depuración. Este incremento de Pb se puede deber a los vientos del Sur y Suroeste (característicos de la temporada primaveral) que facilitarían el transporte de Pb, metal que es liberado a la atmósfera en los gases de escape producto de la combustión vehicular e industrial, hacia el sector sur de la bahía.

Los organismos de la Estación 8, presentan los valores más altos, problablemente debido a que esta es la estación de muestreo más cercana a la zona de mayor población en la comuna de Quintero.

En los meses anteriores, se observa que los valores máximos se registraron en la Estación 1 pero en concentraciones muy inferiores a las mencionadas anteriormente. Esta estación se ubica a mayor distancia de la zona densamente poblada, por lo que se puede inferir que la causa principal del aporte sería de tipo industrial.

Sedimentos (Fig. Nº11).

El comportamiento de la concentración de Pb en sedimento a través del tiempo en todas las estaciones varía en un estrecho rango, sin observarse predominio en una con respecto a otra. En el mes de julio, sin embargo, la Estación 2 se destaca por presentar una alta concentración de este metal, no coincidente con el resto de las estaciones en el mismo mes; con los antecedentes que se tienen acerca del área que circunda a esta estación, no es posible inferir cuál es la causa o causas que puedan sustentar este notorio aumento.

Comparación del contenido de Pb en organismos y sedimentos.

La concentración de Pb en tejidos de P. purpuratus es aproximadamente tres veces mayor que en sedimentos.

- Cobre:

P. Purpuratus (Fig. Nº12)

La máxima concentración de Cu en P. purpuratus se presenta en las Estaciones 6, 1 y 8 en orden decreciente, durante mayo y agosto, disminuyendo en el siguiente mes. Es posible explicar la disminución de los valores de concentración en tejido de P. purpuratus debido a procesos de depuración, observándose aparentemente, para este metal, un comportamiento cíclico.

El aporte de Cu se debe principalmente a la Fundición y Refinería de Cobre de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), ubicada en Ventanas, que por componentes latitudinales de un giro ciclónico (Anexo 1), el metal se concentra en los organismos de las Estaciones 6 y 1, más cercanas a la refinería. Además, los altos valores de Cu detectados podrían ser aportados por el continuo tráfico de carga y descarga de barcos cuyos cascos son recubiertos con pintura antiincrustante a base de Cu.

Sedimentos (Fig. Nº13)

Los más altos valores de Cu en sedimentos se encuentran en la Estación 2 en los meses de agosto y septiembre, seguido por los de las Estaciones 3, 5 y 7, para experimentar una caída brusca en octubre y noviembre. La causa de contaminación es la misma expuesta anteriormente donde la refinería está ubicada entre las Estaciones 2 y 3, y debido a corrientes de circulación ciclónica (Anexo 1), se concentrarían en gran proporción en dicho sedimento. A su vez, las componentes latitudinales de sentido sur del giro ciclónico arrastrarían el metal desde Estación 3 a la 7.

El valor máximo observado en agosto para sedimentos corresponde

a los valores observados en tejidos de organismos para el mismo mes.

Comparación del contenido de Cobre en organismos y sedimentos.

El contenido de Cu en tejidos de organismos es aproximadamente cuatro veces mayor que en sedimentos, lo que puede explicarse por la mayor capacidad de acumulación existente en organismos.

- Cadmio:

P. purpuratus (Fig. Nº14)

Los resultados de Cd en organismos demuestran que en agosto se observa un aumento en todas las estaciones, siendo la más alta la Estación Nº 1, luego la Estación 6 y finalmente la Estación 8.

Se sabe que este metal se obtiene como residuo en la refinación de otros metales, como es el caso del Cu.

Sin embargo, en julio la Estación 8 presenta el valor máximo en comparación al resto de las estaciones, y con respecto a los demás meses; este aumento no se puede justificar de la misma forma que lo observado en el mes de agosto, tanto por su gran magnitud como por no mantener relación con el resto de las estaciones para el mismo mes.

Debido a la poca información sobre el comportamiento de descarga hacia el mar de desechos químicos eliminados por las industrias del entorno de la bahía, no se puede aventurar cuál es la causa o causas de estos resultados.

Sedimentos (Fig. Nº15)

Se aprecia una tendencia progresiva en el aumento de concentración en sedimentos durante el mes de agosto, alcanzando un máximo en septiembre. No es posible deducir una distribución

espacial debido al pequeño rango de diferencia en concentración entre estaciones.

Comparación del contenido de Cadmio en organismos y sedimentos.

Se observa la capacidad de los organismos de concentrar mayor cantidad de Cd con respecto al sedimento.

- Mercurio:

P. purpuratus (Fig. Nº16)

La distribución estacional de las concentraciones de Hg en tejidos de organismos demuestran que el máximo se presenta en octubre, comenzando por Estación 1, seguida de la Estación 8 y la Estación Nº 6. Estos valores tienden a disminuir en noviembre, a través del proceso de depuración experimentado por los organismos.

Este aumento en octubre, se puede deber a un incremento de la eliminación del metal por industrias que lo desechan comúnmente hacia el mar; esto mismo hace suponer que áreas cercanas a la central termoeléctrica y a la refinería de Cobre presentarían valores más altos y los organismos filtradores una mayor concentración de Hg en sus tejidos. Siendo la Estación Nº 1 la más cercana y en función del tipo de corrientes en esta zona se produciría arrastre del metal hacia la Estación 8, favoreciendo su concentración en este punto.

La Estación 6 se escapa a un comportamiento lógico frente a las anteriores, lo que hace presumir que el valor esperado debiera ser más alto que el detectado, y su razón en gran medida se explica a que el tamaño de los organismos en esta estación fué inferior a los analizados en meses anteriores para la misma estación y con respecto a Estación 1 y Estación 8 en el mismo mes.

Sedimentos (Fig. Nº17)

Los valores máximos en orden decreciente se observan en las Estaciones 2, 3, 5 y 7, durante el mes de octubre, lo que coincide con la secuencia de valores encontrados en tejidos de organismos.

El valor máximo observado en la Estación 2 confirma lo expuesto anteriormente relacionado con la ubicación de la fuente emisora de Hg y la distribución en las siguiente estaciones se explica por lo antes mencionado.

Comparación del contenido de Mercurio en tejidos de organismos y en sedimentos.

En ambos se manifiesta un aumento en el mes de octubre, sin embargo, la presencia del Hg en los sedimentos es seis veces mayor que la presente en los organismos.

- Arsénico:

P. purpuratus (Fig. Nº18)

Del análisis de As en organismos se observa que en el mes de septiembre, se registra un máximo en la Estación 8, seguida de la Estación 1 y finalmente la Estación Nº 6, con tendencia a disminuir en los meses siguientes para todas las estaciones. Se aprecia que la Estación 8 se escapa de los valores de concentración de As con respecto al resto, aún considerando que las tres estaciones para este mes son de contenido superior en relación a los meses anteriores y posteriores.

Se podría atribuir el aporte de As principalmente a la presencia de la planta de generación de energía eléctrica y a las emisiones de una refinería de Cobre, industrias ubicadas en las cercanias de Estación 1 y Estación 6. El punto crítico se presenta en organismo de

Estación 8, que se encuentra a mayor distancia de los focos contaminantes, por lo que se debe atribuir a otra causa tan alto nivel, el que es equivalente al doble del medido en organismos de Estación 1; causa que se desconoce en base a la información existente.

Sedimentos (Fig. Nº19)

En la Estación 3 se observa que durante el mes de septiembre se presentan altos valores de As, seguida por la Estación 2, con la diferencia que esta sigue aumentando hasta alcanzar un punto máximo en octubre y disminuyendo en el mes siguiente de la misma forma que la Estación 3.

En el mes de mayo, la Estación 3 presenta valores mayores en comparación a la misma estación en el mes de septiembre; seguida de la Estación Nº 5.

Se deduce de lo anteriormente descrito que es necesario seguir investigando la presencia de As en organismos y sedimentos, pues su comportamiento no es constante en el tiempo ni en el espacio, ni sus fluctuaciones pueden explicarse a la luz de los resultados de esta investigación.

Comparación del contenido de Arsénico en organismos y sedimentos.

La concentración de As tanto en organismos como en sedimentos se encuentra en rangos similares, no apreciándose una importancia mayor de uno sobre otro, por esto no se puede deducir cual de los dos tipos de muestras sea mejor indicador.

En general, para aquellos metales que se acumulan principalmente en organismos, la razón de su abundancia se puede atribuir a una mayor solubilidad de estos en el agua, lo que permite mayor contacto con el

organismo filtrador, ya sea en la forma de complejo o ionizado. En cambio, aquellos metales que se encuentran en mayor proporción en los sedimentos se entienden como partículas insolubles, las que se depositan en la capa sedimentaria.

Comparación del contenido de metales en organismos por estación.

Para todas las estaciones el contenido de Cu en organismos es muy elevado, debido a esto no se incluye en los gráficos de las Estaciones 1, 6 y 8.

- Estación 1 (Fig. Nº20)

La Figura 12 muestra que los valores de Cobre son del orden de siete veces mayores que aquellos de Pb, Cd y Hg. El valor máximo de Pb se observa en agosto y coincide con el máximo de Cu (Fig.12). Los valores de concentración de Cd son los más bajos entre los metales considerados en este estudio para la Estación 1.

- Estación 6 (Fig. Nº21)

Después del Cu (Fig.12), el Pb es nuevamente el metal que le sigue en niveles de concentración en tejidos de organismos, destacándose el mes de octubre donde se registró el valor de concentración más alto. El rango de magnitud es del orden de cinco veces menor que el Cu. Las menores concentraciones para la Estación 6 corresponde a Hg y Cd.

- Estación 8 (Fig. Nº22)

El Cu (Fig.12) supera 2.5 veces el contenido de Pb en esta estación. El valor máximo (después de Cu) se observa en octubre y corresponde al Pb. Las más bajas concentraciones corresponden a Hg y Cd.

Comparación del contenido de metales en sedimentos por estación.

En sedimentos, a diferencia de lo que ocurre en organismos, los valores de concentración de los metales considerados en este estudio (Pb, Cu, Cd, Hg y As) se encuentran dentro de un rango más estrecho.

- Estación 2, 3 y 5 (Figs. Nº23, 24 y 25)

En estas estaciones los valores máximos de concentración corresponden a Cu y Hg, siendo mayor aquella correspondiente a Hg particularmente en el mes de octubre.

Entre los meses de julio y noviembre los valores de Cd y Pb son los más bajos.

Estas tres estaciones muestran un espectro de concentraciones muy similar en el tiempo y en el espacio. Se aprecia una tendencia notable a valores más bajos para cada metal desde Estación 2 hacia la Estación 5.

- Estación 7 (Fig. Nº26)

Los valores de concentración de metales en la Estación 7, son en general, más bajos que en las Estaciones 2, 3 y 5. Proporcionalmente, sin embargo el Pb aparece más importante. Es posible inferir que el aporte de Pb en esta estación puede deberse a las cercanias de la zona urbana.

De manera similar a las otras estaciones el Cu se encuentra en mayor concentración en septiembre seguida por As en el mismo mes.

El Cd nuevamente es el metal encontrado en la más baja concentración en todos los meses. La presencia de este metal se explica por la existencia de una refinería de cobre, donde es un subproducto en la refinación de dicho metal y es parcialmente eliminado

a la atmósfera.

En general, se puede observar una concordancia entre la mayor proporción de ciertos metales para determinada estación y la cercania de los focos contaminantes, así por ejemplo, el Cu en organismos y sedimentos presenta altos índices en las estaciones cercanas a la fundición de este.

Hemos afirmado que las fuentes emisoras de metales como Cu, Cd, Hg y As son principalmente la refinería de cobre y la central termoeléctrica, existiendo un efecto de dilución con la distancia de ellas. Al analizar las concentraciones obtenidas para los distintos metales se observa que para el Cu se cumple esta relación. En el tiempo se observa un comportamiento cíclico, que demuestra que esta área es proveedora continua de cobre, pero en cantidades variables. Así mismo, este análisis determina que el Cd no sería producto principal de estas fuentes, concentrándose al sur de la bahía, sin presentar un comportamiento constante en el tiempo, especialmente en sedimento.

El Hg, al igual que el Cu, cumple la relación distancia-concentración, pero no se puede afirmar cual es su comportamiento en el tiempo. Para el As, se puede considerar como principal fuente contaminante de este metal la central termoeléctrica, debido a las concentraciones altas en las cercanias de ella e incluso se puede observar un comportamiento cíclico en el tiempo.

Hemos afirmado en cambio, que para el Pb su origen se debe a la cercanía de la zona altamente poblada, lo que se confirmaría por el análisis de organismo en cada estación, aún cuando en sedimento, no se observó el mismo comportamiento.

La explicación más razonable de los valores relativamente altos entre agosto y octubre en sedimento se debe a la menor intensidad de los vientos. Esta observación se puede correlacionar con la presencia de una notoria película de polvillo verde grisáceo detectable (durante nuestros muestreos) sobre las dunas cercanas a la chimenea de Ventanas en dicho periodo.

Las concentraciones de Pb y Cu en organismos reportadas para Chile en la literatura (Anexo 8) son inferiores a las encontradas en este estudio (59, 2 y 142 mg kg^{-1}, respectivamente)

El Cd presenta en organismos un mínimo de 0.328 y máximo de 7.25 mg kg^{-1}, siendo superado en Concepción en 1980 con 8.4 mg kg^{-1} (51) y en 1985 con 16.7 mg kg^{-1} en P. purpuratus (49); en la VIII región en la localidad de Burca en 1987 con 8.49 mg kg^{-1} en Aulacomya ater y en P. purpuratus con 61.80 mg kg^{-1}(47), finalmente en Coliumo en 1987 (VIII región), en P. purpuratus con 11.10 mg kg^{-1} y 16,70 mg kg^{-1} (47).

Hg presenta un máximo de 9.33 y un mínimo de 0.334 mg kg^{-1} ; As con un máximo de 24.5 y mínimo de 0.0 mg $kg.^{-1}$ En ambos casos no se encuentran valores que lo superen en Chile.

Al comparar el contenido de metales en sedimentos (Anexo 10) se observa que Pb presenta un máximo de 18.2 y un mínimo de 1.34 mg kg^{-1} siendo superado por el máximo en la bahía de Concepción en 1980 con 40.4 mg kg^{-1} (53) y en Valparaíso en 1987 con 125.9 mg kg^{-1} (54), como también en Caldera con 596.0 (50) y Tongoy con 683.8 mg kg^{-1} en 1987 (53).

El Cd presenta un máximo de 1.18 y un mínimo de 0.0 mg kg^{-1} siendo superado por el Golfo de Arauco en 1980 con 2.24 mg kg^{-1} y Sn. Vicente en 1980 con 3.10 mg kg^{-1}(53), bahía de Concepción en 1980 con 6.27 mg kg^{-1} (53) y 3.10 mg kg^{-1} en 1985 (49), así como en Valparaíso en 1987 con 9.51

mg kg^{-1} (54) y finalmente en Tongoy en 1987 con 35.09 mg kg^{-1} (53). Se debe destacar que en estos dos metales coinciden los lugares de índices superiores como Valparaíso y Concepción lo que es razonable debido a su densa población.

Para Hg se presenta un máximo de 56.6 y un mínimo de 0.274 mg kg^{-1} que no es sobrepasado en ninguna región de Chile.

En el caso de As que tiene un máximo de 28.6 y un mínimo de 0.590 mg kg^{-1} solamente en Caldera es superado en 1987 con 52.6 mg kg^{-1} (dada la escasa información) (50), siendo todos los rangos mínimos (Iquique, Caldera y Coquimbo), superiores a 0.590 mg kg^{-1}.

Por último, con respecto al contenido de metales en organismo en el Pacífico Sudeste (Anexo 10), para el Pb, su máximo es superado en Perú, en la bahía de Paracás en Donax asper con 68 mg kg^{-1} y Semimytilus algous, con 250 mg kg^{-1} (62).

Tanto Cu como Cd no tienen valores que lo superen. El Hg, en cambio presenta mayores valores en Ecuador y Perú, en el primero se destacan principalmente Mytella guayanensis en Estero Salado en 1985, con 202.3 mg kg^{-1} (58), y Ostrea columbiensis con 716.3 mg kg^{-1} en 1985 en el mismo lugar (58). En Guayaquil, se destacan las mismas especies, con 200 mg kg^{-1} (59) y 400 mg kg (60) respectivamente. En Perú, se encuentran valores menores a 500 mg kg^{-1} en Pisco y Chimbote, en Semimytilus algous, y P. purpuratus, Argopecten purpuratus y Donax asper (61).

En cuanto al As, no se tiene información al respecto.

Analizando los valores obtenidos en sedimentos también en el Pacífico Sudeste, según la Anexo 11, se tiene que el contenido de Pb es superado en Panamá, Colombia, Ecuador y Perú, destacándose el primero

en 1986 con 204.0 mg kg^{-1} (y un mínimo de 200 mg kg) (64), Ecuador en la Península de Sta. Elena con 157.5 en 1987 (66) y en la bahía de Paracás con 507 mg kg^{-1} en Perú (62).

El Cu es también sobrepasado en su concentración en los mismos paises anteriores, resaltando Panamá en 1986 con 110 mg kg^{-1} (64) y en Perú, con 294 mg kg^{-1} en bahía de Paracás (62).

El Cd, tanto en Perú como en Ecuador, se presenta por sobre el valor máximo, destacándose en el último en 1989 con 24.75 mg kg^{-1} y Perú en 1980 con 6.77 mg kg^{-1} (66).

El Hg es superado solamente en Ecuador con un valor de 600 mg kg^{-1} en 1985 (58).

Para finalizar, el As no presenta información comparativa al respecto.

6. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Existe una mayor tendencia a la incorporación de hidrocarburos aromáticos derivados del petróleo en tejidos de organismos con respecto a sedimentos; en cambio en agua de mar, si bien la magnitud es menor a las anteriores, es de consideración para este tipo de muestra.

- El derrame de petróleo ocurrido accidentalmente durante el desarrollo de este estudio es la causa por la cual agua y organismos marinos presentan valores de concentración de Hidrocarburos superiores en relación a otras publicaciones realizadas en Chile. Respecto a los paises del Pacífico Sudeste, estas son superiores unicamente en organismos.

- Plomo, Cobre y Cadmio se incorporan en mayor proporción en los tejidos de organismos que en sedimentos; en cambio Mercurio, tiende a fijarse principalmente en sedimentos. Arsénico se encuentra en concentraciones semejantes en ambas muestras.

- Las concentraciones de metales traza (Pb, Cu, Hg y As) en organismos son mayores a las determinadas en estudios anteriores del país; respecto al sedimento, unicamente el Mercurio sobrepasa estos valores. En paises del Pacífico Sudeste, Cobre y Cadmio se destacan en organismo, por presentar valores de concentración más elevados con respecto a los de este estudio, en cambio en Panamá, Colombia, Ecuador y Perú, los valores máximos encontrados en sedimentos superan las concentraciones de los diferentes metales. En cuanto al Arsénico, tanto

en organismos como en sedimentos no hay información disponible para comparar.

- Se afirma que los niveles de concentración de Pb, Cu, Hg y As disminuyen a medida que las estaciones se alejan del foco emisor.

- Se recomienda un muestreo mensual para el análisis de Hidrocarburos y metales trazas, a diferencia de una frecuencia trimestral y bimensual planteadas en el proyecto FONDECYT Nº 0.315 / 89; esto es debido a la variabilidad de las concentraciones de Hidrocarburos y metales observada en este estudio.

7. BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

(1) Andrade, H. (1986). Evaluación del impacto ecológico sobre playas, fondos marinos y comunidades bentónicas de la Bahía de Quintero, después del derrame de petróleo producido por el B.T. OBO Makedonia star, el día 5 de Noviembre de 1986. Informe Final. 69 p.

(2) Goldberg, E.D. (1976). The health of the oceans. 6: 117-136.

(3) Farrington, J.W.; J.M. Teal and P.L. Parker. Petroleum Hydrocarbons. 1: 3-34.

(4) IMCO/CPPS/PNUMA. (1981). Predicción del Comportamiento del Petróleo derramado en el mar. Curso Internacional sobre derrames de Petróleo. Chile. 3: 1-25.

(5) Moore, S.F. and R.L. Dwyil. (1974). Effects of oil on marine organisms: a critical assessment of published data. Water Res. 8: 819-827.

(6) Ober, A., M, Gonzáles y L. Guerra (1986). Contenidos de Pesticidas organoclorados y de metales pesados en el Jurel (Trachurus murphyi) de la V reg. La pesca en Chile, Escuela de Ciencias del Mar, Facultad de Recursos Naturales, UCV.

(7) Perry, D.M., J.S. Weis and P. Weis (1988) "Cytogenetic Effects of Methylmercury in Embryos of the killifish, Fundulus heteroclitus. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 17: 569-574.

(8) Establier, R. (1977). Estudio de la contaminación marina por metales pesados y sus efectos biológicos. Inf. Tecn. Inst. Inv. Pesq. 47: 1-36.

(9) Calabrese, A., J.R. Macinnes, D.A. Nelson, R.A. Greig and P.P. Yevich (1984). Effects of long-term exposure to silver or copper on growth, bioacumulation and histopatholgy in the blue mussel Mytilus edulis.

Marine Environmental Research. 11: 253-274.

(10) Yevich, C.A. and P.P. Yevich. Hystopathological effects of cadmium and copper on the Sea Scallop Placopecten magellanicus. Marine Pollution and Physiology: Recent Advances. Institute for Marine Biologic and Coastal Research by the University of South Carolina Press. 187-198.

(11) Chiang, J.J. y C.G. Núñez (1983). Estudio comparativo sobre metales pesados, a nivel de trazas en especies marinas - V Región. Alimento 8(2): 23-29.

(12) Martini, M.I., F. Garrido y S. Rojas. El Mercurio como contaminante en los alimentos. Alimento 4: 38-44.

(13) Hermosilla, A. y H. Rojas (1988). Cuantificación de niveles de arsénico en individuos expuestos a altos índices de contaminación. U. de Valparaíso. Tesis para optar al título de Químico Farmacéutico.

(14) Bryan, G.W. (1980). Recent trends in research on heavy-metal contamination in the sea. Helgolander Meeresunters, 33: 6-25.

(15) Nelson, D.A. y J.E. Miller, and A. Calabrese. (1988). Effect of heavy-metals on boy scallops, surf clams, and blue mussels in acute and long-term exposures. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 17: 595-600.

(16) Förstner, H. and G.T.W. Wittmann (1983). Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heiderberg, New York, Tokio, 486 p.

(17) FAO/OMS (1978). Programa Conjunto sobre normas alimentarios CAC/FAL.

(18) Babji, A.S., M.S. Embong and W.W. Woon (1979). Heavy metal contents in coastal waster fishes of west Malaysis. Bull Environ. Contam. Toxicol 23: 280.

(19) Anales Museo de Historia Natural (1977). 12:207-219.

(20) SERNAP. Biología pesquera Nº 11 (1977).

(21) Romo, H. y K. Alveal. (1977). Las comunidades del litoral rocoso de punta Ventanilla, Bahía de Quintero, Chile - Gayana, Misc, 6: 1-41.

(22) Olsen, C.R., N.H. Cutshall and I.L.. Larsen. (1982). Pollutant-Particle Associations and Dynamics in Coastal Marine Environments. A Review. Marine. Marine Chemistry. 11: 501-533.

(23) Andrade, H. (1987). Evolución del Impacto Ecológico sobre playas, fondos marinos y comunidades bentónicas de la Bahía de Quintero después del derrame de petróleo producido por Enami, en la Bahía de Quintero el día 14 de Noviembre de 1986. Informe Final 69 p.

(24) COI (1982). The Determination of Petroleum Hydrocarbons in sediments. Manuals and Guides. 11: 1-35.

(25) COI (1984). Manual for Monitoring oil and Dissolved/Dispersed Petroleum Hydrocarbons in marine Waters and on Beaches. Manuals and Guides 13: 1-35.

(26) UNEP (1982). Determination of total cadmiun, zinc, lead and copper in selected marine organisms by atomic absorption spectrophotometry. Reference Methods for Marine Polllution Studies Nº 11. Regional Seas. July: 1-12

(27) AOAC (1984). Metals and Other Elements at Trace Levels in Foods. 25: 444-445.

(28) Chernoff, B.(1975). A method for Wet Digestion of Fish Tissue for Heavy Metal Analyses. Trans. Am. Fish. Soc. Nº 4: 803-804.

(29) Alcázar, F., G. Leighton, L. López y L. Ramorino (1989). Presencia de Hidrocalburos Totales Aromáticos de Petróleo en agua, sedimentos y arenas de playas y organismos marinos de la zona norte y central de Chile Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste, Cali Colombia. 1989. 77 p.

(30) Andrade, H. y F. Alcázar (1986). Efecto de dos derrames de Hidrocarburos de Petróleo en la Bahía de Quintero, Chile. Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste, Cali Colombia. 1989. 77 p.

(31) Instituto de Oceanología (1985). Programa de Investigación y Vigilancia y control de la contaminación marina por Hidrocarburos de petróleo en el Pacífico Sudeste y su efecto en las comunidades y ecosistemas marinos CONPACSE FASE 1. Informe de Avance Nº 1. Doc. IOUV/Junio 1985. 194 p.

(32) Alcázar, F., L. López y L. Ramorino (1986). Manchas de aceite y otros contaminantes e Hidrocarburos disueltos/dispersos en agua de mar. Programa de Investigación, Vigilancia y Control de la contaminación marina por Hidrocarburos de petróleo en el Pacífico Sudeste y su efecto en las comunidades y ecosistemas marinos. CONPACSE-FASE 1. Informe de Avance Nº 2. Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso. Doc. IOUV/2 Noviembre 1986, 80-108.

(33) Leighton, G. y L. López. (1988). Hidrocarburos de petróleo en playas arenosas y aguas litorales. Programa de investigación, vigilancia y control de la contaminación marina por Hidrocarburos de petróleo en el Pacífico Sudeste y su efecto en las comunidades y ecosistemas marinos CONPACSE-FASE 1. Informe de Avance Nº 3. Instituto de Oceanología. Universidad de Valparaíso. Doc. IOUV/3 Agosto de 1988. 183-192.

(34) Dorión, R. y C. Bonett (1989). Estudio de niveles de Hidrocarburos policíclicos aromáticos dispersos/disueltos en diferentes zonas costeras del Pacífico Sudeste. Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste, Cali

Colombia. 1989. 77 p.

(35) Alcázar, F., L. López y A. Salinas (1986b). Contenido de Hidrocarburos en sedimentos de fondo, arenas de playas y en organismos marinos de la Bahía de Concepción. Programa de Investigación, vigilancia y contol de la contaminación marina por Hidrocarburos de petróleo en el Pacífico Sudeste y su efecto en las comunidades y ecosistemas marinos. CONPACSE-FASE 1. Informe de Avance Nº 2. Instituto de Oceanología. Universidad de Valparaíso. Doc. IOUV/2 de Noviembre 1986. 183-192.

(36) Andrade, H.(1986b). Evaluación del Impacto Ecológico sobre playas, fondos marinos y comunidades bentónicas de la Bahía de Quintero después del derrame de petróleo producido por Enami, en la Bahía de Quintero en el día 14 de Noviembre de 1986, Informe Final. Doc. IOUV/27 de Enero de 1987. 69 p.

(37) Lecaros, O. y M. Quilodíaz (1987). Derrame de Petróleo de BT. Cabo Pilar en Estrecho de Magallanes (Chile). Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste, Cali Colombia. 1989. 77 p.

(38) D' Croz, L., B. Kwienconski y B. Chidl (1984). La contaminación por Hidrocarburos del petróleo en la Bahía de Panamá. Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste, Cali Colombia. 1989. 77 p.

(39) CPPS/PNUMA (1988). Caracterización y vigilancia de la Contaminación por Hidrocarburos de petróleo en el Pacífico Sudeste. Versión reducida de las contribuciones nacionales (Colombia, Chile, Ecuador, Panamá y Perú). Plan de acción para la protección del medio marino y áreas costeras del Pacífico Sudeste, Programa de Mares Regionales. Bogotá, Octubre 1988.

(40) Comisión Nacional Medio Ambiente (1988). Informe de Vigilancia de los Hidrocarburos disueltos/dispersos en la Bahía de Panamá y el Golfo de Chiriqui. Programa de Investigación, Vigilancia y Control de la Contaminación Marina por Hidrocarburos de petróleos en el Pacífico Sudeste. Panamá, Noviembre 1988.

(41) Marrugo, A.J. (1989) Estudio de la Contaminación Marina por Hidrocarburos de petróleo en el Litoral Sur en el Pacífico Colombiano. Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste, Cali Colombia. 1989. 77 p.

(42) INOCAR (1988). Programa de Investigación y Vigilancia de la contaminación marina por Hidrocarburos de petróleo en el Pacífico Sudeste. Informe de actividades. Instituto Oceanográfico de la Armada. Ecuador. Octubre 1987, Mayo y Junio de 1988.

(43) DIGMER (1987). Programa de Caracterización y Vigilancia de la contaminación marina por Hidrocarburos de petróleo disueltos/dispersos y bolas de Alquitrán en aguas costeras de las provincias de Guayas y El Oro. Dirección General de la Marina Mercante y del Litoral, Armada del Ecuador.

(44) Sonnenholzner, S. (1988). Niveles de Hidrocarburos de petróleo superficiales en el sedimento de las masas de agua adyacentes a la ciudad de Guayaquil. Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste, Cali Colombia. 1989. 77 p.

(45) Jacinto, M. y J. Balbín (1988). Evaluación de los niveles de Hidrocarburos de petróleo en areas sensibles de la costa Peruana. Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina

en el Pacífico Sudeste, Cali Colombia. 1989. 77 p.

(46) Sánchez de Benitez, G. y H. Soldi (1988). Survey and monitoring of marine pollution in Perú. Co.-operation of enviromental protection in the Pacific. UNEP Regional Seas. Report and Studies Nº 97: 99-114. UNEP 1988.

(47) Universidad de Concepción (1987). Programa de Vigilancia de contaminantes en Bahía de Concepción. VIII Región Chile 76p.

(48) Universidad de Valparaiso (1988). Programa de Investigación, Vigilancia y control de la contaminación marina por Hidrocarburos de petróleo en el Pacífico Sudeste y su efecto en las comunidades y ecosistemas marinos. Chile 190p.

(49) Universidad de Concepción (1985). Programa de Vigilancia de contaminantes en Bahía de Concepción. VIII Región Chile. Informe avance, Julio 1985. 76p.

(50) Bore, R., Robotham, R. Trucco, M. Fernández y J. Inda (1987). Evaluación preliminar de la presencia de metales pesados en recursos pesqueros de importancia comercial de la III Región de Chile. Instituto de Fomento Pesquero de Chile. Santiago. 26p.

(51) Universidad de Concepción (1980). Proyecto de Evaluación del grado de contaminación del litoral de la VIII Región según convenio SERPLAC. VIII Región y U. de Concepción. Dirección de Asistencia Técnica - Informe Final 207p.

(52) Lecaros, O., Palma y M.S. Astorga (1989). Metales Pesados en Chorito (Mytilus chilensis) del Sector oriental del Estrecho de Magallanes-Chile. Seminario Sobre Investigación y Vigilancia de la contaminación Marina en el Pacífico Sudeste. Cali-Colombia. 1989. 77p.

(53) Inda, F.J., B.R. Trucco y M.L. Fernández (1987). Evaluación de Cadmio, Cobre y Hierro en Mesodesma donacium. Extraídos en Caleta San

Pedro y Lagunillas de la IX Región. VII Jornadas de Ciencias del Mar. Univ. del Norte, Coquimbo.

(54) Universidad de Valparaíso (1987). Estudio básico para evaluar la presencia de metales pesados en agua, sedimentos y organismos marinos de la V Región de Chile. 41p.

(55) D' Croz, J., L. Alvarez, A. Dutary, D. Vasco y J. Palacios. Programa de Caracterización y Vigilancia de la contaminación marina a partir de fuentes domésticas, agrícolas, industriales y mineras en áreas ecológicamente sencibles del Pacífico Sudeste. Pesticidas y metales pesados en especies de peces e invertebrados en la Bahía de Panamá. 21p.

(56) INDERENA (1987). Calidad de las Aguas. Contenidos de Metales en Aguas, Sedimentos y Organismos de la Ensenada de Tumaco y Bahía de Buenaventura. Cartagena, Colombia. Doc. CPPS/PNUMA 17p.

(57) DIGMER (1988). Caracterización y Vigilancia de la Contaminación Marina a partir de Metales Pesados en Sedimentos y Organismos vivos en el área Costera de Esmeraldas, Manta, Península de Santa Elena y Puerto Bolivar, Guayaquil. 29p.

(58) Solorzano, L. (1985). Presencia de Metales Trazas en el Estero Salado ríos Baboyo, Daule y Guayas. Instituto Nacional de Pesca, Ecuador. Doc. CPPS/PNUMA. 5p.

(59) Pérez, E. (1989). Trazas de Metales en Organismos bivalvos - Metales pesados. Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste. Cali - Colombia. 1989. 77p.

(60) Chalen de Padilla, N. (1988). Concentración de Mercurio en Organismos Bivalvos en Ecuador. Instituto Nacional de Pesca 1989. Seminario

sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste. Cali - Colombia. 1989. 77p.

(61) Echegaray, M., C. Guerin, I. Hinojosa, W. Zambrano y L. Taype. Vigilancia de la Contaminación Marina por Metales Pesados en áreas Críticas Peruanas (Moluscos Bivalvos como Bio-indicadoes). Universidad Nacional Federico Villarroel. Lima - Perú. 9p.

(62) Hinojosa, B.J. y F.D. Ormeño. Contaminación por Metales Pesados en la Bahía de Paracás (Perú). Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste. Cali-Colombia. 1989. 77p.

(63) Sánchez de Benites, G. Fuentes y Niveles de Contaminación Marina en Pisco e Ilo-Ite (Perú). Instituto del Mar del Perú. Callao. Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste. Cali - Colombia. 1989. 77p.

(64) CONAMA (1986). Evaluación de Pesticidas y Metales Pesados en Especies de Peces e Invertebrados Marinos en la Bahía de Panamá. Informe de Avance CONPACSE. Comisión Nacional del Medio Ambiente de Panamá. Universidad de Panamá. 21p.

(65) ESPOL (1987). Evaluación de Metales Pesados en Agua de Mar y Sedimentos en el área Costera de las Provincias Guayas, el Oro y el Golfo de Guayaquil - Ecuador. Doc. CPPS/PNUMA. 5p.

(66) DIGMER (1989). Inventario de Fuentes de Contaminación Marina en la zona Costera Ecuatoriana a partir de actividades industriales. Guayaquil - Ecuador. 31p.

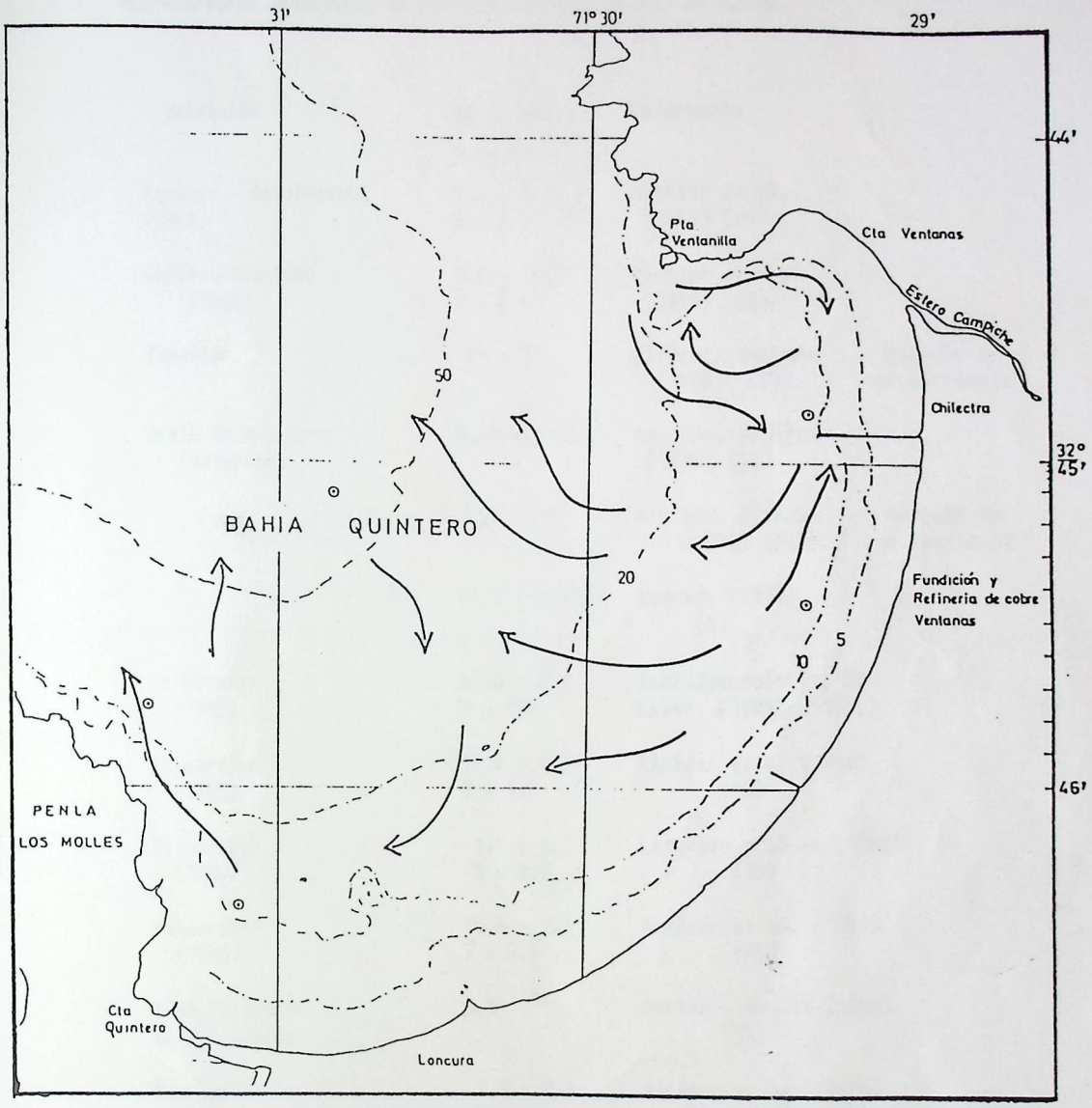
(67) Echegaray, M., C. Guerin., I. Hinojosa., I. Sparrow y W. Zambrano (1986). Contenido de Mercurio en Moluscos bivalvos de la costa peruana (1984 - 1985). Universidad Nacional Federico Villarroel. Doc. CPPS/PNUMA. Perú. 9p.

(68) Echegaray, M., C. Guerin., I. Hinojosa. e I. Sparrow (1986). Red de Vigilancia de Metales Pesados por indicadores biológicos (molúscos bivalvos). Experiencias Peruanas (1984 - 1986). Universidad Nacional Federico Villarroel. Lima - Perú. 32p.

(69) Bryan, G.W. (1976) Heavy metal contamination in the sea. In: Marine Pollution, R. Johnston ed. Academic Press, London. 185-302 p.

(70) Gerlach, S.A. (1981) Marine Pollution. Diagnosis and Therapy. Springer, Berlin. 218p.

8. ANEXO



ANEXO 1: Campo de circulación superficial en la Bahía de Quintero.

(Fuente de información: Prof. Bernardo Malet, Oceanógrafo)

ANEXO 2

Hidrocarburos Aromáticos de Petróleo en Agua de Mar en Chile.

Ubicación	HC en ppb o $\mu g\ dm^{-3}$	Referencia	
Iquique - Antofagasta (1988)	5.0 - 1.3 $\bar{x}$ = 2.5	Alcázar et al. (1989) (29)	
Caldera-Coquimbo (1988)	5.0 - 0.6 $\bar{x}$ = 2.1	Alcázar et al. (1989) (29)	
Zapallar	29 - 3	Alcázar, Andrade (1986) (30)	Después de un terremoto
Bahía de Quintero (interior)	0.48 - 0.01	Andrade, Alcázar (1986) (30)	
	56 - 11	Andrade, Alcázar (1986) (30)	Después de un terremoto
	61.1 - 0.01	Andrade (1986) (1)	
Valparaíso (1985)	66.0 - 2.0 $\bar{x}$ = 19.3	Inst.Oceanología, Alcázar (1986) (31,32)	
Valparaíso (1986)	12.6 - 0.5 $\bar{x}$ = 3.2	Alcázar et al (1989) (29)	
Valparaíso (1987)	1.1 - 0.2 $\bar{x}$ = 0.3	Leighton y López (1989) (33)	
Valparaíso (1988)	10.4 - 7.1 $\bar{x}$ = 8.7	Alcázar et al. (1989) (29)	
Area Portuaria de Valparaíso	>3	Dorion - Bonett (1989) (34)	
Concepción (1986)	2.9 - 0.8 $\bar{x}$ = 1.6	Alcázar et al. (1986) (35)	

ANEXO 3

Hidrocarburos Aromáticos de Petróleo en Organismos en Chile.

Ubicación	Organismos	HC en ppm o $mg \cdot Kg^{-1}$	Referencia
Iquique (1988)	Bivalvo	10.10 - 0.49 $\bar{x}$ = 3.71	Alcázar et al. (1989) (29)
Caldera-Coquimbo (1988)	Bivalvo	7.05 - 1.40 $\bar{x}$ = 3.89	Alcázar et al. (1989) (29)
Bahía de Quintero (1986)	Papurus gardichaudi	3.58 - 3.44	Andrade, Alcázar (1986) (30) (1)
	P.purpuratus	2.65 - 2.14	Andrade (1986) (1)
	Austromegabalanus psittacus	2.49	Andrade (1986) (1)
	Crassostrea gigas	3.58 - 0.4	Andrade (1986) (1)
	P. purpuratus	104.0 - 1.01	Andrade (1986b) (36)
	Crassostrea gigas	97.0 - 1.29	Andrade (1986b) (36)
Concepción (1986)		2.07 - 1.25 $\bar{x}$ = 1.66	Alcázar et al. (1986b) (35)

ANEXO 4

Hidrocarburos Aromáticos de Petróleo en Sedimento en Chile.

Ubicación	HC en ppm o $mg.kg^{-1}$	Referencia	
Quintero (1986)	5.80 - 0.10	Alcázar, Andrade (1986) (30)	
Concepción (1986)	5.06 - 0.14 $\bar{x}$ = 252	Alcázar et al. (1986) (32)	
Estrecho de Magallanes (1987)	1859.9 - 6.5	Lecaros, Quilodíaz (1987) (37)	Derrame de Petróleo

ANEXO 5

Hidrocarburos Aromáticos de Petróleo en Agua de Mar en el Pacífico Sudoeste.

Ubicación	HC en ppb o $\mu g \cdot dm^{-3}$	Referencia
PANAMA.		
Puerto Balboa (1984)	máx. = 87 $\bar{x}$ = 23.0	D' Croz, Kwenanski, Chial (1984) (38)
Puerto Balboa (1985)	70.0 - 0.5 $\bar{x}$ = 12.9	CPPS/PNUMA y Com.Nac.Med.Amb. (1988) (39, 40)
Puerto Balboa (1987)	8.4 - 1.3 $\bar{x}$ = 3.7	CPPS/PNUMA y Com.Nac.Med.Amb. (1988) (39, 40)
Puerto Balboa (1988)	54.3 - 0.2 $\bar{x}$ = 12.4	Com.Nac.Med.Amb. (1988) (40)
Area adyacente a entrada del Canal	máx. = 10.0 $\bar{x}$ = 2.8	D' Croz, Kwenanski, Chial (1984) (38)
Area terminal del Canal	máx = 20 $\bar{x} > 10$	D' Croz, Kwenanski, Chial (1984) (38)
Bahía de Panamá (1985)	10.0 - 0.5 $\bar{x}$ = 2.7	CPPS/PNUMA y Com.Nac.Med.Amb. (1988) (39, 40)
Bahía de Panamá (1987)	$\bar{x}$ = 3.0	CPPS/PNUMA y Com.Nac.Med.Amb. (1988) (39, 40)
Bahía de Panamá (1988)	72.1 - 0.5 $\bar{x}$ = 18.9	CPPS/PNUMA y Com.Nac.Med.Amb. (1988) (39, 40)
Puerto Vacamonte (1987)	4.0 - 1.6 $\bar{x}$ = 3.0	CPPS/PNUMA y Com.Nac.Med.Amb. (1988) (39, 40)
Puerto Vacamonte (1988)	1.9 - 0.3 $\bar{x}$ = 0.8	Com.Nac.Med.Amb. (1988) (40)
Golfo de Chiriqui (1988)	13.9 - 0.0 $\bar{x}$ = 2.0	Com.Nac.Med.Amb. (1988) (40)
COLOMBIA		
Bahía de Buenaventura (1987)	6.5 - 0.8 $\bar{x}$ = 3.8	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Bahía de Buenaventura (1989)	10 - 3 $\bar{x}$ = 6.63	Marrugo (1989) (41)

ANEXO 5 (cont.)

Ubicación	HC en ppb o $\mu g \cdot dm^{-3}$	Referencia
Alrededores de Isla Gorgona (1987)	12.8 - 0.4 $\bar{x}$ = 3.8	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Alrededores de Isla Gorgona (1989)	10 - 3 $\bar{x}$ = 6.63	Marrugo (1989) (41)
Ensenada de Tumaco (1987)	10.6 - 0.3 $\bar{x}$ = 4.5	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Ensenada de Tumaco (1989)	6.0 - 1 $\bar{x}$ = 2.39	Marrugo (1989) (41)
ECUADOR		
Esmeraldas (1987)	1.7 - 0.7 $\bar{x}$ = 1.2	INOCAR (1988) (42)
Esmeraldas (1988)	2.1 - 1.2 $\bar{x}$ = 1.6	INOCAR (1988) (42)
Manta (1984)	184.0 - 40.0 $\bar{x}$ = 85	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Manta (1987)	2.8 - 0.9 $\bar{x}$ = 1.9	INOCAR (1988) (42)
Manta (1988)	2.3 - 1.3 $\bar{x}$ = 1.8	INOCAR (1988) (42)
Bahía Sta. Elena (1985)	1110.0 - 5.0 $\bar{x}$ = 144.7	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Bahía Sta. Elena (1986)	900 - 400	DIGMER (1987) (43)
Bahía Sta. Elena (1987)	106.0 - 8.4	DIGMER (1987) (43)
Bahía Sta. Elena (1987)	1.5 - 0.6 $\bar{x}$ = 1.0	INOCAR (1988) (42)
Bahía Sta. Elena (1988)	3.2 - 0.8 $\bar{x}$ = 2.1	INOCAR (1988) (42)
Ancón Posorja (1985)	420.0 - 9.2 $\bar{x}$ = 128.6	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Ancón Posorja (1986)	150.9 - 40.0	DIGMER (1987) (43)

ANEXO 5 (cont.)

Ubicación	HC en ppb o $\mu g \cdot dm^{-3}$	Referencia
Ancón Posorja (1987)	129.0 - 30.0	DIGMER (1987) (43)
Canales Jambelí y Cascajal (1989)	1.12 - 0.03	Sonnenholzner (1989) (44)
Golfo de Guayaquil Estuario (1988)	1.1 - 0.0 $\bar{x}$ = 0.3	Sonnenholzner (1988) (44)
Puerto Bolivar (1985)	1310.0 - 0.2 $\bar{x}$ = 202.7	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Puerto Bolivar (1986)	25.0 - 10	DIGMER (1987) (43)
Puerto Bolivar (1987)	70.0 - 45.0	DIGMER (1987) (43)
Puerto Bolivar (1987)	3.1 - 1.1 $\bar{X}$ = 1.9	INOCAR (1988) (42)
Puerto Bolivar (1988)	2.7 - 0.8 $\bar{X}$ = 1.9	INOCAR (1988) (42)
PERU		
Bahía de Talora y áreas adyacentes	26.5	Jacinto, Balbín (1988) (45)
Area del Callao (1985)	0.6 - 0.1 $\bar{x}$ = 0.2	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Area del Callao (1986)	1.7 - 0.05 $\bar{x}$ = 0.4	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Area del Callao (1986)	3.37 - 0.07	Sánchez de Benitez y Soldi (1988) (46)
Area del Callao (1988)	8.54 - 0.05	Jacinto, Balbín (1988) (45)
Bahía de Ilo-Ite (1988)	5.70 - 1.41	Jacinto, Balbín (1988) (45)

ANEXO 6

Hidrocarburos Aromáticos de Petróleo en Organismos Marinos en Pacífico Sudeste.

Ubicación	HC ppm o $mg\ kg^{-1}$	Referencia
COLOMBIA - Bivalvos		
Bahía de Buenaventura (1987)	5.29 - 1.61 $\bar{x}$ = 3.12	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Isla Gorgona (1987)	3.86 - 0.76 $\bar{x}$ = 1.75	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Ensenada de Tumaco (1987)	10.73 - 0.53 $\bar{x}$ = 4.31	CPPS/PNUMA (1988) (39)

ANEXO 7

Hidrocarburos Aromáticos de Petróleo en Sedimentos en Pacífico Sudeste.

Ubicación	HC ppm o $mg \cdot kg^{-1}$	Referencia
PANAMA		
Area de la Bahía	16.0 - 0.3	D' Croz, Kwienanski, Chial (1984) (38)
COLOMBIA		
Bahía de Buenaventura (1987)	0.36 - 6.11 $\bar{x}$ = 0.20	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Isla Gorgona (1987)	0.16 - 0.05 $\bar{x}$ = 0.1	CPPS/PNUMA (1988) (39)
Ensenada de Tumaco (1987)	1.42 - 0.04 $\bar{x}$ = 0.64	CPPS/PNUMA (1988) (39)
ECUADOR		
Guayaquil (estero salado)	2.06 - 0.17 $\bar{x}$ = 0.57	Sonenholzner (1989) (34)

ANEXO 8

Metales en Organismos en Chile mg kg^{-1}

Organismo	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
P.purpuratus						
- Valparaíso	1.747 - 0.941	14.363 - 4.366	0.867 - 0.188	0.07 - 0.010		U. de Valparaíso (1988) (48)
- B. de Concepción			16.7 - 6.7	0.13 - 0.041		U. de Concepción (1985) (49)
- Coliumo			16.70			U. de Concepción (1987) (47)
- Burca			11.10 - 0.67			U. de Concepción (1987) (47)
- Lirquen			61.80 - 28.7			U. de Concepción (1987) (47)
- Lirquen			3.62	0.19		U. de Concepción (1987) (47)
- Lenga			4.52	4.18		U. de Concepción (1987) (47)
Aulacomya ater						
- Iquique		1.09		0.08	0.24	Bore 1987 (50)
- Caldera		22.54		0.16	0.68	Bore 1987 (50)
- Coquimbo		1.04		0.29	0.50	Bore 1987 (50)

ANEXO 8 (cont.)

Organismo	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
- B. de Concepción			8.40 - 3.20	0.16 - 0.10		U. de Concepción (1985) (49)
- B. de Concepción	1.16	8.15	3.75	0.19		U. de Concepción (1980) (51)
- Sn. Vicente	0.25	6.10	5.80	0.14		U. de Concepción (1980) (51)
- G. Arauco	1.05	8.15	6.50	0.24		U. de Concepción (1980) (51)
- Coliumo			8.40	0.1		U. de Concepción (1987) (47)
- Burca			8.49 - 7.13	0.27 - 0.052		U. de Concepción (1987) (47)
- Burca			7.06	0.11		U. de Concepción (1987) (47)
- Lirquén			4.55 - 2.80	0.52 - 0.16		U. de Concepción (1987) (47)
- Lirquén			3.96	0.12		U. de Concepción (1987) (47)
- Lenga			3.13	0.23		U. de Concepción (1987) (47)
Concholepas concholepas						
- Iquique		2.73		0.08	0.20	Bore (1987) (50)
- Caldera		7.92		0.19	0.36	Bore (1987) (50)
- Coquimbo		2.15		0.03	0.26	Bore (1987) (50)

ANEXO 8 (cont.)

Organismo	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
Mytilus chilensis						
- Estrecho de Magallanes		4.72 - 0.83		0.032 - 0		Lecaros y col. (1989) (52)
Sardinops Sagax Musica						
- Iquique		0.47		0.06	0.79	Bore (1987) (50)
- Caldera		3.85		0.13	0.62	Bore (1987) (50)
- Coquimbo		2.01		0.16	0.26	Bore (1987) (50)
Paralichthys microps						
- Iquique		0.33		0.06	0.24	Bore (1987) (50)
- Coquimbo		0.51		0.07	0.8	Bore (1987) (50)
Engraules ringens						
- Caldera		7.94		0.18	0.96	Bore (1987) (50)

ANEXO 8 (cont.)

Organismo	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
Mesodesma donacium						
- San Pedro		203 - 4.56	1.08 - 0.16			Inda y col. (1987) (53)
- Lagunillas		1.56 - 0.83	0.26 - 0.07			U. de Valpso. (1988) (48)
- Costas de Valpso.	2.930 - 1.273	1.416 - 0.759	0.296 - 0.129	0.07 - 0.028		U. de Valpso. (1988) (48)
Merluccius gayi						
- Valparaíso	2.028 - 0.277	0.853 - 0.306	0.0205 - 0.012	0.04 - 0.002		U. de Valpso. (1988) (48)
Tracheures murphyi						
- Valparaíso	2.268 - 1.029	1.343 - 0.531	0.241 - 0.085	0.47 - 0.17		U. de Valpso. (1988) (48)

ANEXO 9

Metales en Sedimento en Chile ppm o $mg \cdot kg^{-1}$

Ubicación	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
Iquique		26.4 - 12.3 $\bar{x}$ = 19.35		2.03 - 0.36 $\bar{x}$ = 1.19	17.8 - 6.5	Bore (1987) (50)
Caldera		596 - 65 $\bar{x}$ = 229.2		208 - 0.33 $\bar{x}$ = 1.12	52.6 - 9.8	Bore (1987) (50)
Coquimbo		21.99 - 11.42 $\bar{x}$ = 16.70		1.12 - 0.63	10.36 - 3.46	Bore (1987) (50)
Tongoy		683.8 - 20.6	35.09 - 1.83			Inda y col. (1987) (53)
Valparaiso	80.5 - 10.8	125.9 - 35.1	9.51 - 0.57			U. de Valpso. (1987) (54)
B. de Concep.	40.40	40.79	6.27	0.15		U. de Concep. (1980) (51)
San Vicente	17.35	27.73	3.10	0.38		U. de Concep. (1980) (51)
G. Arauco.	14.68	23.61	2.24	0.25		U. de Concep. (1980) (51)
B. de Concep.			3.10 - <0.04	0.24 - <0.01		U. de Concep. (1985) (49)

ANEXO 9 (cont.)

Ubicación	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
Intendencia		26.40		0.84		Bore (1987) (50)
Rincón del Fraile		12.40		1.14		Bore (1987) (50)
Pen. Cavancha		13.60		2.03		Bore (1987) (50)

ANEXO 10

Metales en Organismos Marinos en Pacífico Sudeste .ppm. o $mg \cdot kg^{-1}$

Organismo	Ubicación	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
	PANAMA						
Caloppa convexaeus	B. de Panamá		18.2	<0.03	0.084		D' Croz (1987) (55
Arquipecten circularis	B. de Panamá		3.40	0.16	0.038		D' Croz (1987) (55
Paninurus gracilis	B. de Panamá		9.30	0.05	0.188		D' Croz (1987) (55
Melongena patula	B. de Panamá		16.10	< 0.03	0.030		D' Croz (1987) (55
	COLOMBIA						
Andara tuberculosa	Ensenada de Tumaco		14.11 - 1.11	1.13 - 0.65	< 0.5		INDERENA (1987) (56
	Bahía Buenaventura		23.16 - 1.32	1.88 - 0.88	< 0.5		INDERENA (1987) (56
Andara similis	Ensenada de Tumaco		13.67 - 2.95	1.40 - 0.88	<0.5		INDERENA (1987) (56
	Bahía Buenaventura		23.16 - 1.32	1.88 - 0.88	0.763 - 0.12		INDERENA (1987) (56

ANEXO 10 (cont.)

Organismo	Ubicación	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
Donax panamensis	Ensenada de Tumaco		12.77 - 1.63		< 0.5		INDERENA (1987) (56)
	Bahía Buenaventura		23.16 - 1.32	1.88 - 0.88	0.763 - 0.12		INDERENA (1987) (56)
Ostrea coticienzis	Ensenada de Tumaco		2.45	0.69	<0.5		INDERENA (1987) (56)
	ECUADOR				(ug/kg)		
Sardinops sagax sagax	Penins. Sta. Elena	11.75	11.0	2.50			DIGMER (1988) (57)
	Penins. Sta. Elena	3.12	8.75	3.25			DIGMER (1988) (57)
Almejas sp.	Penins. Sta. Elena	2.50	18.75	2.50			DIGMER (1988) (57)
	Penins. Sta. Elena	3.75	4.75	0.75			DIGMER (1988) (57)
Mytella strigala	Estero Salado				62.60		Solorzano (1985) (58)
Tagelus affinis	Estero Salado				2227.05 - 410		Solorzano (1985) (58)
Mytella guayanensis	Estero Salado				202.3 -<10		Solorzano (1985) (58)
	Guayaquil		28.82 - 4.31	1.13 -< 0.01	200 - 27		Pérez Ospina E. (59)
Ostrea columbiensis	Estero Salado				716.3 -<10		Solorzano (1985) (58)
	Guayaquil				400 - 10		Chalen de Padilla (1988) (60)

ANEXO 10 (cont.)

Organismo	Ubicación	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
	PERU				(ug/kg)		
Perumytilus purpuratus	Pisco-Tacna		3.0 - 0.7	5.0 - 0.8	< 500		Echegaray (1988) (61)
Semitylus algous	Chimbote - Callao		2.0 - 0.8	4.5 - < 0.8	< 500		Echegaray (1988) (61)
	Bahía de Paracás	250 - 10	4.5 - 0.5	1.8 - 0.5	0.7 - 0.1		Hinojosa y col. (62)
Argopecten purpuratus	Chimbote - Callao		1.0 - 0.8	5.4 - 2.8	< 500		Echegaray (1988) (61)
	Pisco e Ilo-ite		0.92	3.46			Sánchez de Benites (63)
Aulacomya ater	Chimbote - Callao		2.8 - 0.7	7.0 - 0.5	< 500		Echegaray (1988) (61)
Donax asper	Pisco - Tacna		6.8 - 2.8	< 0.4	< 500		Echegaray (1988) (61)
	Bahía de Paracás	68 - 10	20 - 5	0.3 - 0.01	0.63 - 0.05		Hinojosa y col. (62)

ANEXO 11

Metales Pesados en sedimento del Pacífico Sudeste. .ppm o $mg.kg^{-1}$

Ubicación	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
PANAMA						
Bahía de Panamá	204.0 - 20.0	111.0 - 27.0				CONAMA (1986) (64)
COLOMBIA						
Ensenada de Tumaco	18.79 - 5.78	64.2 - 47.4	1.06 - 0.39	0.75 - 0.23		INDERENA (1987) (56)
Ensenada de Tumaco	22.02 - 5.10	75.78 - 13.5	1.07 - 0.33	0.5 - 0.14		INDERENA (1987) (56)
Bahía de Buenaventura		105.1 - 19.0		6.57 - 1.89		INDERENA (1987) (56)
Rios Yanaje - Curay	16.65	28.46	0.56	0.32		INDERENA (1987) (56)
Rios Bahía Buenav.				0.936 - 0.447		INDERENA (1987) (56)
ECUADOR				(ug/kg)		
Antocito	13.0 - 6.8	16.0 - 6.0	0.31 - 0.18	660.4 - <10		Solorzano (1985) (58)
Playas	8.0 - 5.7	14.0 - 5.5	0.53 - 0.0			ESPOL (1987) (65)
Posorja	8.0 - 6.7	19.2 - 6.6	0.53 - 0.49			ESPOL (1987) (65)

ANEXO 11 (cont.)

Ubicación	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
Libertad - Chanduy	14.1 - 4.6	16.0 - 4.0	1000 - 0.75			ESPOL (1987) (65)
Puerto Bolivar (1986)	18.2 - 4.8	27.0 - 9.0	0.875 - 0.75			ESPOL (1987) (65)
Puerto Bolivar (1987)	51.25 - 14.0	47.5 - 2.5	21.25 - 1.0			DIGMER (1989) (66)
Puerto Bolivar (1988)	10.5 - 6.0	18.0 - 5.5	1.0 - 0.65			DIGMER (1989) (66)
Esmeraldas (1987)	42.5 - 12.5	35.0 - 10.0	5.25 - 1.0			DIGMER (1989) (66)
Esmeraldas (1988)	7.0 - 5.5	10.75 - 6.0	0.9 - 0.7			DIGMER (1989) (66)
Manta	90 - 4.5	16.25 - 7.25	0.95 - 0.7			DIGMER (1989) (66)
P. Sta. Elena (1987)	157.5 - 17.5	30.0 - 2.5	24.75 - 1.0			DIGMER (1989) (66)
P. Sta. Elena (1988)	11.0 - 2.5	14.5 - 3.25	0.75 - 0.35			DIGMER (1989) (66)
PERU						
Chimbote		0.6 -<0.1	0.75 -<0.1	0.6 - 0.1		Echegaray (1988) (61)
Chimbote		64.48 - 16.46	0.78 - 0.0	0.71 - 0.19		Echegaray (1986) (67)
Callao		> 160 - 18.0	0.65 - 0.1	0.8 - 0.45		Echegaray (1988) (61)
Callao	201.7 - 158.4	134.15 - 0.0	6.77 - 2.88	0.69 - 0.44		Echegaray (1986) (67)

U. DE VALPARAISO
BIBLIOTECA
COORD. GEN. DE BAS

ANEXO 11 (cont.)

Ubicación	Pb	Cu	Cd	Hg	As	Referencia
Pisco		50.0 - 0.12	0.2 - 0.0	0.75 - 0.2		Echegaray (1988) (61)
Pisco		46.69-0.0		170 - 0.0		Echegaray (1986) (67)
Tacna		0.30 - 0.15	0.4 - 0.1	0.4 -<0.1		Echegaray (1988) (61)
Tacna		135.83 - 11.09	1.42 - 0.0	0.650 - 0.230		Echegaray, U. Fco. Villarroel (1986) (68)
Ite		1320	130			Echegaray, U. Fco. Villarroel (1986) (68)
B. de Paracás	507 - 15	294 - 12	3.56 - 0.01	3.0 - 0.35		Hinojosa y col. (62)