

00344



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR LA DESCARGA DE
FERTILIZANTES INDUSTRIALIZADOS, EN EL ESTUARIO
DEL RÍO BALSAS MICHOACÁN, MÉXICO Y ZONA
COSTERA ADYACENTE.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
M A E S T R A E N C I E N C I A S
(BIOLOGÍA DE SISTEMAS Y RECURSOS ACUÁTICOS)**

P R E S E N T A

BIOL. ISABEL VICTORIA SALAS RODARTE

Directora de Tesis: Dra. Guadalupe J. de la Lanza Espino

MÉXICO, D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Resumen	i
Introducción	1
Antecedentes	3
Objetivos	11
Área de Estudio	12
Metodología	18
Resultados y Discusión	26
Columna de Agua	26
Sedimentos	60
Parámetros Biológicos	67
Conclusiones	90
Bibliografía	92
Anexo I	102
Anexo II	111

AGRADECIMIENTOS

En la elaboración de cada trabajo, existe un gran número de personas que intervienen en el mismo, por lo que quiero agradecer su apoyo.

En primer lugar, quiero hacer patente todo mi agradecimiento y cariño a mi tutora y directora de tesis durante esta etapa de mi formación académica y personal, la Dra. Guadalupe de la Lanza Espino, por sugerirme este tema de tesis, por su paciencia, tiempo, apoyo, consejos, amistad y sobre todo por compartir sus conocimientos conmigo. Muchas gracias.

A mis compañeros del Laboratorio de Hidrobiología, del Instituto de Biología de la UNAM, sobre todo al Técnico Salvador Hernández Pulido, por su ayuda en el trabajo de campo, laboratorio y gabinete, gracias Chava por toda tu ayuda.

Para que este trabajo, tuviera una presentación adecuada y un orden correcto de las ideas, los sinodales trabajaron arduamente y por ello quiero agradecer sus críticas y comentarios, pero sobre todo su tiempo, muchas gracias a mi comité tutorial por los muchos semestres como maestros y amigos los doctores Guadalupe de la Lanza Espino, Andrea Raz Guzmán y Alfonso Vázquez Botello y a los sinodales que hicieron las revisiones finales del escrito los doctores Federico Páez Osuna y Francisco Flores Verdugo. Gracias mil por todas sus recomendaciones y su maravilloso tiempo.

A la Bióloga Ivette Ruiz por su ayuda en la búsqueda de material bibliográfico y todo el demás tiempo que me dedicaste, gracias amiga. A la Dra. Norma Sánchez por su ayuda en el análisis de resultados.

A todos los buenos amigos y compañeros, que no sólo enriquecieron este trabajo, sino también el alma, que después de todo eso es lo más importante. Gracias por su amistad y su confianza.

Por último, y no porque sean los menos importantes, a mis padres por todo lo que representan en mi vida. Gracias por darme la vida misma, los amo.

RESUMEN

En la región del Puerto de Lázaro Cárdenas Michoacán, las industrias establecidas, descargan aguas residuales no tratadas o con tratamientos primarios; así como, también son vertidos desechos agrícolas y domésticos al estuario del Río Balsas y zona costera adyacente. Dentro de las industrias establecidas en esta región, se encuentra Fertilizantes Nacionales (FERTINAL) que descarga desechos y aguas residuales de la fabricación del ácido fosfórico desde hace aproximadamente 17 años al estuario del Río Balsas y al área marina adyacente. Originalmente, la descarga se realizaba a través de un emisor submarino hasta el Cañón de la Necesidad, pero el ducto se fracturó con los sismos de 1985, esta fractura ha traído consecuencias ambientales significativas. Dado que el impacto ambiental de cualquier descarga al mar depende de la naturaleza del desecho, de las características fisicoquímicas del agua del cuerpo receptor, del grado de dispersión y dilución del desecho y de su impacto biótico, se planteó el objetivo general de evaluar el impacto causado por Fertilizantes Nacionales (FERTINAL) en el estuario del Río Balsas, a partir del análisis de las características fisicoquímicas y biológicas del área estuarina y marina adyacente. Con base en áreas contiguas y las condiciones previas al establecimiento se observó que, en las características ambientales de la columna de agua los ortofosfatos se encontraron por arriba del intervalo normal (55% de los puntos muestreados), con un nivel máximo en agosto de 1995 de 145.6 μM . El pH fue ácido tanto en la ruptura del yesoducto (2.7) como en las estaciones cercanas a la dársena suroeste (entre 1.6 y 5.3). El zinc, cadmio y plomo se encontraron por arriba de los valores normales en las aguas de los ambientes costeros.

En el sedimento se destacaron contenidos máximos de materia orgánica de 4.6% en el punto de la ruptura del yesoducto y en las estaciones cercanas. Las estaciones al noroeste de la ruptura del yesoducto presentaron acumulación de fosfoyeso y los metales pesados se registraron a niveles "traza".

En cuanto al componente biológico, los organismos bentónicos estuvieron ausentes en las estaciones donde había impregnación de fosfoyeso, en el punto donde se vertían las aguas residuales y cerca de la dársena suroeste. Comparado con

condiciones previas, la diversidad y densidad fueron menores, lo que indica una contaminación de moderada a alta. Se encontraron organismos indicadores de contaminación por enriquecimiento orgánico como los anélidos *Glycera* y *Polydora* y el molusco *Tellina*. El análisis de distribución del tipo log - normal, mostró un grupo de organismos en fase transitoria. El fitoplancton presentó una disminución de la diversidad lo cual indicó una zona moderadamente contaminada. Se encontró al género *Oscillatoria*, cuya presencia se relaciona con un alto contenido de materia orgánica. En los aspectos pesqueros de la región, se observó que el esfuerzo pesquero del estado de Michoacán ha aumentado y que en este componente biótico se encontraron especies tolerantes a la contaminación por desechos urbanos, industriales, agrícolas y metales pesados (como *Astyanax fasciatus*, *Cyprinus carpio*, *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus* y *Sicydium multipunctatum*).

El vertimiento de desechos y de las aguas residuales, producto de la fabricación del ácido fosfórico, así como la descarga de otras industrias, desechos urbanos y agrícolas, han impactado a las aguas de los ecosistemas adyacentes al Puerto de Lázaro Cárdenas, modificando los factores abióticos ya mencionados, sin embargo, el componente biótico ha sido el más afectado.

ABSTRACT

In the region of the Port of Lázaro Cárdenas Michoacán, the established industries, not discharge residual waters treated or with primary treatments; as well as, agricultural and domestic waste are also poured. Inside the industries settled down in this region, it is Fertilizantes Nacionales (FERTINAL) which discharges waste and residual waters of the production of phosphoric acid for approximately 17 years to the estuary of the Río Balsas and the adjacent marine area. Originally, the discharge was carried out through a submarine originator until the Cañón de la Necesidad, but the duct fractured with the earthquakes of 1985; this fracture has brought significant environmental consequences. Since the environmental impact of any discharge to the sea depends on the nature of the waste, of the physic-chemical characteristic of the water of the receiving body, of the dispersion degree and dilution of the waste and of its impact biotic; thought about the general objective of evaluating the impact caused by Fertilizantes Nacionales (FERTINAL) in the estuary of the Río Balsas, starting from the analysis of the physic-chemical characteristic and biological of the estuarine and marine adjacent areas.

With base under contiguous areas and the previous conditions to the establishment, it was observed that, in the environmental characteristics of the column of water, the orthophosphate was for up of the normal interval (55% of the scanner points), with a maximum level in August of 1995 of 145.6 μM . The pH was sour so much in the rupture of the yesoducto (2.7) like in the near stations to the Southwest basin (between 1.6 and 5.3). The zinc, cadmium and lead were for up of the normal values in the waters of the coastal atmospheres.

In the silt they stood out maximum contents of organic matter of 4.6% in the point of the rupture of the yesoducto and in the near stations. The stations to the northwest of the rupture of the yesoducto presented fosfoyeso accumulation and the heavy metals registered at level "appearance".

As for the biological component, the benthic organisms were absent in the stations where there was phosphogypsum impregnation, in the point where they spilled the residual waters and near the Southwest basin. Compared with previous conditions, the diversity and density they were smaller, that indicates a contamination of moderate to high. They were indicative organisms of contamination for organic enrichment as the annelids *Glycera* and *Polydora* and the mollusk *Tellina*. The analysis of distribution log - normal it showed a group of organisms in transitory phase. The phytoplankton presented a decrease of the diversity that which indicated an area moderately polluted. It was to the gender *Oscillatoria* whose presence is related with a high content of organic matter. In the fishing aspects of the region, it was observed that the fishing effort of the state of Michoacán has increased and that in this biotic component they were tolerant species to the contamination for urban, industrial, agricultural waste and heavy metals (as *Astyanax fasciatus*, *Cyprinus carpio*, *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus* and *Sicydium multipunctatum*).

The discharge of waste and of the residual waters, product of the production of the phosphoric acid, as well as the discharge of other industries, urban and agricultural waste, they have impacted to the waters from the adjacent ecosystems to the Port of Lázaro Cárdenas, already affecting some of the abiotic factors mentioned, however, the biotic component has been the most affected one.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las diferentes actividades del hombre han provocado importantes impactos sobre el ambiente. Los efectos de éstos han pasado de una escala local a una global, modificando características importantes del planeta. Problemas tales como contaminación, sobrecalentamiento, reducción de la capa de ozono y lluvia ácida son temas comunes y de actualidad. Uno de los problemas más graves a escala mundial, derivado del desarrollo de las actividades humanas, es la pérdida de la diversidad biológica aunada a la destrucción del hábitat (Ceballos, 1993).

Estos problemas ambientales, así como su seguimiento, han cambiado conforme pasa el tiempo. A principios de la década de 1970 la contaminación del agua y del aire llamaba la atención por el olor o sabor que podía producir. En la actualidad, el interés sobre el deterioro ambiental va más allá de olores y sabores y ha entrado a una etapa en la cual se intenta conocer los efectos del vertimiento de desechos sobre el ambiente, el hombre y el resto de los organismos (Ramammoorthy y Baddaloo, 1991).

El marco ambiental de las zonas costeras es el producto de una interacción entre factores geológicos, físicos, químicos, climáticos y biológicos, cuyo resultado es, en términos generales, que cada rasgo morfológico y funcional sea único. Dentro del ambiente químico de los sistemas costeros se lleva a cabo la transferencia y movimiento de un buen número de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, cuyo ciclo es característico para cada cuerpo de agua (De la Lanza - Espino, 1994).

En los océanos se encuentran al menos siete clases de contaminantes ambientales en potencia, los cuales provienen principalmente de los desechos industriales y las manufacturas químicas y agrícolas (Weihaupt, 1984): 1) sustancias químicas tóxicas, 2) fertilizantes, 3) materia orgánica, 4) contaminación bacteriana, 5) contaminación radioactiva, 6) contaminación térmica y 7) materia sólida flotante.

Las consecuencias biológicas de la contaminación son predecibles y repetitivas en todos los ecosistemas costeros alrededor del mundo a través de un proceso llamado eutroficación por nutrientes provenientes de aguas negras, de la agricultura y del acarreo por lluvias, que causa un excesivo crecimiento de plantas y organismos microscópicos, que al descomponerse (detritus) provocan una disminución del oxígeno disuelto del medio. Esto trae como consecuencia invariable una disminución en la diversidad de especies (eucariotas) en el cuerpo de agua (Thorne-Miller y Catena, 1991).

En México, algunas industrias se han establecido en las cuencas de los ríos, como es el caso de la última porción del Río Balsas, el cual desemboca en el Pacífico Mexicano. En esta área se han asentado industrias que fabrican, productos ácidos y fertilizantes, y cuyos desechos o subproductos son descargados en el mar (complejo industrial Lázaro Cárdenas). A partir de la creación de estas industrias se ha realizado un monitoreo del estuario del Río Balsas el cual, a partir de 1990, ha causado inquietud a algunas instituciones públicas, por lo que surge la necesidad de llevar a cabo un monitoreo independiente del realizado por las instancias gubernamentales de la calidad del agua y sus recursos en la zona, con el fin de determinar si las características fisicoquímicas y de calidad del agua están dentro de las normas oficiales y propiedades acuáticas normales.

2. ANTECEDENTES

La importancia de los yacimientos minerales en la zona de Lázaro Cárdenas, se conocía desde finales del siglo XIX. A partir de 1955 se iniciaron las exploraciones detalladas para determinar la capacidad de los yacimientos. A finales del siglo XX, se tomaron en cuenta los problemas ambientales producidos por las industrias. La zona de Lázaro Cárdenas se caracteriza porque en ella se desarrollan diversas actividades que inciden en el marco ambiental. Se trata de una zona que presenta problemas de diversa índole, por descargas de la industria siderúrgica, agricultura, industria de fertilizantes, desarrollo urbano, actividades portuarias que inciden en el estuario y zona marina.

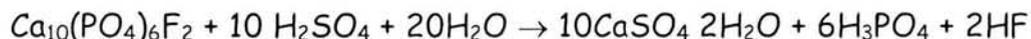
Fertilizantes Nacionales (antiguo FERTIMEX y ahora FERTINAL), ubicado en el Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, descarga al mar principalmente desechos producidos por la fabricación de ácido fosfórico desde hace 17 años.

Originalmente la descarga se efectuaba a través de un emisor submarino (yesoducto), el cual fue diseñado de tal manera que el desecho se vertiera hacia una depresión submarina (Cañón de la Necesidad) con más de 6,000 m de profundidad a una distancia de 1,200 m frente a la línea de costa, con lo que el daño potencial al ambiente marino se atenuaba aprovechando la dinámica litoral y las condiciones batimétricas del sitio. El ducto nunca fue funcional hasta la distancia antes mencionada debido a que sufrió fracturas considerables a 150 m de la punta del espigón norte a raíz de los sismos de 1985, aunado a esto, el efecto de las corrientes marinas ha provocado una nueva fractura que se localiza a una distancia de 60 m de la punta del espigón. Esto ha traído consecuencias ambientales significativas, ya que no se cumple con las normas mexicanas en materia de descarga de aguas residuales. Así mismo se considera que los efluentes están en un proceso de dilución y dispersión en un radio de influencia de aproximadamente 200 m (FERTIMEX, 1990).

El yesoducto de FERTINAL opera desde 1986 con una longitud de 300 m y un diámetro de 0.60 m, con una capacidad de descarga del orden de 6,000 toneladas/día de fosfoyeso diluido al 96% (FERTIMEX, 1990).

Características del fosfoyeso

El yeso o fosfoyeso es el principal producto resultante de la elaboración del ácido fosfórico, producto esencial de las fábricas de fertilizantes fosfatados, el cual se obtiene a partir del ataque de roca fosfórica con ácido sulfúrico en donde se lleva a cabo la siguiente reacción (FERTIMEX, 1990):



Este proceso se realiza mediante digestión y reacción durante un período aproximado de ocho horas, con el objeto de permitir la formación de cristales de yeso. El problema que esto implica es que se obtienen en promedio cinco toneladas de fosfoyeso por cada tonelada de ácido producido. Además, la forma cristalina del fosfoyeso es diferente del yeso común (el utilizado para la construcción), por lo que su utilidad o comercialización es prácticamente nula, constituyéndose entonces en un desecho industrial que requiere ser dispuesto de alguna manera en el ambiente (FERTIMEX, 1990).

La composición química del fosfoyeso puede variar en función de la roca fosfórica que se utilice en la fabricación del ácido fosfórico, así como de la eficiencia del proceso industrial que se emplee en la misma. A pesar de lo anterior, el fosfoyeso típico subproducto del ácido fosfórico, contiene los siguientes compuestos básicos:

Compuestos del fosfoyeso típico (Iturbe, 1978)

COMPUESTO	PORCENTAJE (%)
Compuestos orgánicos	0.11
P ₂ O ₅	0.66
Flúor	0.46
SO ₃	43.52
SiO ₂	3.16
CaO	30.46
Fe ₂ O ₃	0.04
Al ₂ O ₃	0.14
MgO	0.01
NaO	0.10
K ₂ O	0.04

Por otro lado, la roca fosfórica utilizada para la fabricación de ácido fosfórico, contiene usualmente fragmentos de metales, dependiendo de su origen, por lo que después del proceso de digestión aparecen en los desechos de fosfoyeso cantidades de estos metales.

COMPOSICIÓN DE LAS ROCAS FOSFÓRICAS COMERCIALES (The Association of Florida Phosphate Chemist, 1979).

ÍNDICE REACTIVIDAD	MARRUECOS	SENEGAL	TOGO	FLORIDA CENTRAL	CAROLINA DEL NORTE
COMPUESTO	(% DEL CONTENIDO EN ROCA)				
H ₂ O	1.30	0.40	1.00	1.30	0.20
P ₂ O ₅	30.55	36.70	36.70	31.20	32.80
SO ₃	1.83	0.01	0.30	1.10	3.00
FLÚOR	3.70	3.70	3.80	3.70	3.90
SiO ₂	2.10	5.00	4.50	9.00	3.00
CO ₂	7.10	1.80	1.80	3.80	2.40
Cl	0.02	0.003	0.10	0.01	0.02
CaO	50.20	50.00	51.20	46.70	52.50
Al ₂ O ₃	0.40	1.10	1.00	1.10	0.40
Fe ₂ O ₃	0.20	0.90	1.00	1.50	0.65
MgO	0.90	0.04	0.10	0.50	0.63
Na ₂ O	0.90	0.28	0.20	0.50	1.00
K ₂ O	0.07	0.07	0.03	0.11	0.12
C (ORG)	0.21	0.37	0.02	0.28	0.15
SrO	-	-	-	-	0.18
BaO	-	-	-	-	-

PARTES POR MILLÓN					
As	-	-	-	-	14.00
Cd	22.00	53.00	53.00	5.00	40.00
Zn	-	-	-	61.00	360.00
Pb	-	5.00	-	9.00	5.00
Hg	-	0.20	-	-	0.05
U ₃ O ₈	-	-	124.00	185.00	80.00
Co	-	1.00	-	-	2.50
Cr	-	5.00	-	52.00	165.00
Ni	-	28.00	-	30.00	24.00
Ti	-	180.00	36.00	690.00	420.00
V	-	140.00	-	119.00	28.00
Mn	-	20.00	200.00	608.00	50.00
Cu	-	-	-	9.00	12.00
Lodos en ácido conc. (kg/ton P ₂ O ₅)	-	1.50	1.42	1.68	1.50
	-	64.00	50.00	-	40.80

Manejo y disposición de los desechos

Después del proceso de reacción - digestión, el fosfoyeso producido es lavado y filtrado en filtros giratorios que se disponen en una suspensión con un contenido de humedad entre 25 y 40%, la cual se recibe en una tolva de donde se canaliza al yesoducto, mezclándola previamente con agua de mar y agua de servicio, para alcanzar diluciones del 96% antes de disponerse al cuerpo receptor.

Análisis del agua descargada de fosfoyeso al mar en la unidad de Lázaro Cárdenas, Michoacán (FERTIMEX, 1990)

PARÁMETROS	INTERVALO DE NIVELES		
	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
TEMPERATURA (°C)	34.38	36.00	32.00
COLOR (Pt-Co)	37.50	70.00	20.00
pH (UNIDADES)	2.75	3.5	2.0
O ₂ disuelto (mg/l)	3.43	5.80	1.20
PO ₄ (mg/l)	199.88	1112.30	19.80
Ca (mg/l)	1862.35	4153.70	581.30
F (mg/l)	19.52	37.00	6.50
N (mg/l)	0.099	0.35	0.0
Sólidos sedimentables (mg/l)	66.13	150.00	30.00
Sólidos suspendidos (mg/l)	46.14	120.60	20.20
Sólidos totales (mg/l)	58.49	75.40	17.80

Normatividad ambiental

Con el objetivo de prevenir y controlar la contaminación ambiental, las autoridades mexicanas han establecido, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), una serie de Normas Oficiales Mexicanas cuyos principios se basan en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (SEDUE, 1988), aprobada por el H. Congreso de la Unión en 1988. Esta ley establece que todas las descargas de aguas residuales en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, deberán satisfacer las Normas Oficiales Mexicanas que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en dichas descargas, a fin de asegurar una calidad del agua satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.

La SEMARNAP decretó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (SEMARNAP, 1996). En esta norma se declara que toda planta de fertilizantes en México que exceda los niveles máximos permisibles estará ocasionando alteraciones importantes en la calidad del agua del cuerpo receptor y deberá corregir o restaurar el daño ocasionado al equilibrio ecológico y al bienestar de la población.

Los parámetros importantes dentro del marco ambiental y de calidad del agua de implicación ecológica son: 1) los gases disueltos como el oxígeno, con sus variaciones espaciales y temporales, por su influencia en los procesos de fotosíntesis y respiración, 2) los compuestos de nitrógeno y fósforo que se asocian con la productividad en las zonas costeras y 3) los metales pesados o "traza", tanto por su procedencia antropogénica como por su importancia no sólo biológica (como cofactores y reguladores del crecimiento de diversos organismos acuáticos), sino también porque son elementos altamente tóxicos.

El aporte de materiales disueltos y suspendidos que proceden de tierra adentro es el responsable de las modificaciones batimétricas y geomorfológicas. Los terrígenos aportados por los ríos, arroyos y escurrimientos juegan un papel importante en la generación de barreras y consecuentemente en el aislamiento de cuerpos de agua costeros, modificando su batimetría y aumentando el azolvamiento de las comunicaciones efímeras con el ambiente marino, dando como resultado la escasa o nula penetración de la biota procedente del mar. Dado lo anterior, la determinación de sólidos suspendidos adquiere importancia en el entendimiento de las condiciones productivas, sobre todo de especies de importancia pesquera en las aguas costeras.

Otro parámetro importante es la temperatura, que junto con la luz son factores que determinan los procesos de fotosíntesis de los productores primarios, que dependen a su vez de la latitud y ubicación del cuerpo de agua en cuestión, refiriéndose esto último a procesos de circulación, renovación de masas de agua, advección, mareas, etc.

Las variaciones en la salinidad influyen escasamente en la producción primaria pero sí en mayor grado en los procesos de selección de especies, en sitios como la desembocadura de los ríos donde hay una mezcla de agua dulce y salada. Su determinación adquiere importancia en fenómenos de circulación estuarina, en balances hidrológicos de las cuencas lagunares costeras con mezcla de agua marina y dulce, y en el equilibrio de las mismas en función de los ciclos estacionales anuales y en la zonación biótica. En virtud de lo anterior, este parámetro es considerado como de determinación básica dentro de la hidrología (Romero *et al.*, 1980).

Los cambios de pH determinan el grado de toxicidad de algunos compuestos que no definen su grado de disociación (por ejemplo: el amoníaco, ácido cianhídrico y ácido sulfhídrico). Algunos metales contenidos en los sedimentos se solubilizan por variaciones del pH y se convierten en compuestos tóxicos. Los límites letales para muchas especies se encuentran entre valores de pH 3.2 y 3.6 y arriba de 9.8 (De la Lanza - Espino, 1990).

En ambientes acuáticos los materiales orgánicos pueden proceder de la vegetación sumergida y representan una fuente de energía para heterótrofos. Sin embargo, las actividades antropogénicas varían la calidad y cantidad del material orgánico por lo que su interpretación y significado ambiental son distintos. Su evaluación puede ser a escala biológica (demanda biológica de oxígeno, DBO) o química (demanda química de oxígeno, DQO), según la calidad y procedencia de los materiales. El DQO está representado por un conjunto de materiales orgánicos biodegradables. La población de microorganismos en un ambiente dado es proporcional a la cantidad de alimento orgánico biodegradable en el mismo. Si se introduce una cierta cantidad de materia biodegradable en el agua, el DBO es proporcional. Este constituye uno de los parámetros más importantes para medir el posible consumo de oxígeno provocado por una carga orgánica, o sea por determinada cantidad de desechos biodegradables. Al mismo tiempo, este dato permite evaluar el efecto genérico que esta carga de contaminantes pudiera provocar sobre los sistemas acuáticos. Según el concepto empírico de DBO, la materia biodegradable es materia químicamente reductora o consumidora de oxígeno (Murgel Branco, 1984).

Los fluoruros son probablemente contaminantes industriales liberados por la quema de combustible y la calcinación de materiales que contienen fluoruros o relacionados a estos en la manufactura de fertilizantes con fosfatos obtenidos de rocas fosfatadas (en la forma de apatita). En algunos lugares esto resulta en una acumulación en las zonas de pastos marinos, lo cual puede ser dañino para los animales (Mason, 1966).

El sílice en el agua natural se encuentra en estado coloidal o polimérico como partículas suspendidas, así como en forma soluble como silicatos. En el agua de mar el sílice se encuentra como Si(OH)_4 , SiO(OH)_3 y la concentración natural es aproximadamente de 3 mg/l. Se ha observado que la presencia abundante de sílice en agua, junto con otros nutrientes, favorece el crecimiento de diatomeas (Romero *et al.*, 1979).

La identificación de organismos bentónicos y la subsecuente determinación de un índice de diversidad, pueden servir como indicadores de la calidad del agua, ya que los organismos bentónicos son los más afectados cuando las condiciones de calidad en el agua se vuelven adversas, debido a su

limitada capacidad de desplazamiento (Romero *et al.*, 1979). El bentos debe soportar las perturbaciones ambientales, siempre que no sean demasiado severas como para ocasionar su desaparición local, por ende, dada su dependencia sobre el sedimento y dado que el sedimento atrapa y almacena temporalmente muchos contaminantes, la respuesta del bentos ante las perturbaciones es más fácil de asignar a un agente causal concreto. Por lo tanto, el bentos deberá considerarse como una agrupación de elementos integradores de la calidad del agua. El bentos responde a las tendencias del cambio químico y microbiológico en períodos de tiempo más extensos (Salazar - Vallejo, 1991).

3. OBJETIVOS

General

Evaluar el impacto causado por las descargas de fertilizantes industrializados en el estuario del Río Balsas y zona costera adyacente, a partir del análisis de las características fisicoquímicas y biológicas.

Particulares

1. Evaluar las características fisicoquímicas y de la calidad del agua y del sedimento del estuario del Río Balsas y la zona marina adyacente.
2. Identificar los organismos de la infauna y el fitoplancton que se encuentran en la zona, y definir la diversidad de cada grupo para determinar posibles cambios como influencia de la contaminación.
3. Registrar los cambios en el esfuerzo pesquero de la región a partir de 1979 con el fin de conocer si la contaminación y la sobrepesca han influido.

4. ÁREA DE ESTUDIO

Características generales y ubicación

El Río Balsas tiene su origen en el Estado de Tlaxcala. Cruza las tierras de los estados de Puebla y Guerrero. Se forma de los ríos: Frío, San Martín y Zahuapan, que a su vez constituyen al Río Atoyac. Al Río Balsas también se le conoce con el nombre de Zacatula.

Las aguas de este río desembocan en el Pacífico después de haber regado la vasta cuenca que forma en el Estado de Michoacán. Sobre el curso del Río Balsas se encuentra la Presa de Infiernillo con la planta hidroeléctrica del mismo nombre (Martínez, 1990). Tiene una cuenca de captación de 112,320 km², una longitud en sus corrientes de 720 km y con un escurrimiento anual de 13,860 millones de m³ (Parra - García, 1985).

La costa occidental de la República Mexicana, desde el Estado de Jalisco hasta el Estado de Oaxaca, se caracteriza por una plataforma continental estrecha y un talud muy pronunciado debido a la presencia de la Placa de Cocos presentando la Trinchera Mesoamericana, la cual posee profundidades de más de 5,000 m (Morales de la Garza *et al.*, 1988). La zona del delta del Río Balsas comprende una plataforma continental estrecha con excepción de la porción occidental entre Las Peñas y Playa Azul. La plataforma continental está cortada por cañones submarinos, los cuales constituyen el conducto por el cual los sedimentos litorales se precipitan hacia las zonas más profundas de la Trinchera Mesoamericana. Esto ocurre generalmente cuando las arenas se acumulan en las cabeceras de estos cañones y desde ahí son arrastradas por la gravedad hacia abajo, a lo largo del cañón (Morales de la Garza *et al.*, 1988). Particularmente la zona de la desembocadura del Río Balsas se localiza en la frontera entre los Estados de Michoacán y Guerrero, donde se ubica el emisor de Fertilizantes Nacionales. Presenta una pendiente entre 1.4° y 6.6° caracterizándose por la presencia del Cañón de la Necesidad, el cual se

erosionó debido a la descarga del río y por variaciones isostáticas del nivel del mar (Romero *et al.*, 1980). Esta gran depresión submarina presenta profundidades desde 20 m en la boca del río y canal de navegación, hasta 500 m a 4 km de la costa con dirección al sur - sureste. Gutiérrez - Estrada (1971) reportó cierto grado de desgaste en algunos sectores del litoral del delta del Río Balsas debido a la acción mecánica de las olas y de corrientes litorales; menciona así mismo, que el equilibrio que existía fue alterado debido a la disminución del volumen de las gravas y arenas aportadas por el Río Balsas y que, con la construcción de las presas La Villita e Infiernillo, quedan retenidos en ellas.

La característica más sobresaliente de la costa la constituye el Río Balsas, el cual desemboca en un delta, mismo que forma a partir de su ramificación, 2 km aguas abajo de la cortina de la presa "La Villita". Debido al aporte fluvial, el delta constituye un proceso de avance del continente hacia el mar. Sin embargo, actualmente por las presas al retener sedimento, presenta una elevada tasa de erosión por oleaje, lo que ha ocasionado la necesidad de construcción de diversas escolleras. Es un delta de 13 km de base y 9 km de altura, con unos 60 km² de superficie. Las bocas del río tienen una gran inestabilidad por acción del oleaje, corriente litoral y disminución del aporte de sedimentos (Carranza - Edwards *et al.*, 1986).

La dinámica litoral esta determinada por la influencia estacional del oleaje y las corrientes litorales, lo que establece variaciones en el perfil playero durante el año, diferenciándose perfiles con pendiente suave y depósito de arena durante primavera - verano y perfiles con pendiente abrupta y erosión durante otoño - invierno. En general, el sedimento de playa puede considerarse bien clasificado, de forma subangular y maduro (Romero *et al.*, 1980). De acuerdo a la clasificación de FAO-UNESCO, la zona presenta los siguientes tipos de suelo: aluvión, cambisol crómico, regosol eútrico, rendzina y solonchakgleyco (Parra - García, 1985). Estos tipos de suelo, presentan básicamente las siguientes características: Aluvión es un depósito detrítico de origen fluvial, en los lechos mayores y menores de los ríos, en los lagos, abanicos fluviales, pie de laderas montañosas y estuarios (De Novo y Chicarro, 1957). Regosol son suelos débilmente desarrollados, formados a partir de materiales no consolidados con perfil ácido con

epipedlón ochrico (Porta *et al.*, 1999). Rendzina son un grupo de suelos calcimórficos que presentan un color negro o café en el horizonte superficial, mientras que en el horizonte profundo un color gris claro o amarillo, son suaves. Se desarrollan de materiales altamente calcáreos bajo vegetación en climas de húmedos a semiáridos (Bates y Jackson, 1980). Solonchakgleyco son un grupo halomórfico de suelos con un alto contenido de sales solubles, usualmente tienen colores claros pero sin una estructura característica. Se desarrollan debajo de vegetación tolerante a la salinidad, en condiciones climáticas de semiáridas a desérticas y un drenado pobre (Bates y Jackson, 1980).

Todos son susceptibles a erosionarse fácilmente. El regosol eútrico es el suelo predominante en la zona. El área del puerto industrial se asienta sobre el cambisol crómico. Los suelos de aluvión son formados por materiales arrastrados y depositados, incluyendo el arrastre laminar del Río Balsas, su principal formador (Parra - García, 1985).

Hacia las zonas más profundas, el sedimento está constituido por arenas y lodos de color gris formada principalmente por cuarzo (83%), micas (6%) y feldespatos (3%), presentando sólo trazas de conchas, arena media y materia orgánica en un 2%, con alto contenido de anfíboles en sus tamaños finos y con contenido de hierro, zirconio, estroncio, titanio, rubidio, bario, zinc y cobre en orden decreciente, provenientes de los diferentes minerales detríticos acarreados del continente por el Río Balsas (Carranza - Edwards *et al.*, 1986).

Por otro lado, la franja arenosa que se distribuye paralela a la costa en toda la región, a excepción de los cañones de la Necesidad y Petacalco, presenta un adelgazamiento hacia éstos, lo que al parecer indica la pérdida de material arenoso el cual es canalizado por acarreo hacia los cañones y por una falta de aporte por el Balsas hacia la costa debido a la construcción y operación de las presas Infiernillo y La Villita, donde la arena es represada y los materiales más finos son acarreados hacia la costa ampliando relativamente las franjas de arena lodosa y lodo arenoso (Morales de la Garza *et al.*, 1988).

En lo que respecta a las corrientes costeras, se aprecia mayor velocidad superficial (0.30 m/s) decreciendo proporcionalmente hacia el fondo (0.15 m/s a 20 m de profundidad) (Romero *et al.*, 1980). Pueden distinguirse tres tipos principales de circulación: la superficial influenciada por la desembocadura del Río Balsas (de 0 a 5 m), la superficial y subsuperficial costera (de 0 a 15 m) y las corrientes marinas superficiales, subsuperficiales y de fondo. Las corrientes superficiales influenciadas por el Río Balsas se mantienen en una dirección predominante hacia el este, las corrientes superficiales y subsuperficiales costeras predominan al oeste, mientras que las corrientes marinas superficiales y subsuperficiales dominan hacia el oeste - noroeste, con la componente de fondo (20 m) hacia el suroeste (Romero *et al.*, 1980).

Geomorfología

La región donde se ubica el puerto de Lázaro Cárdenas y su área de influencia, se denomina fisiográficamente como Planicie costera del Pacífico, Sierra Madre del Sur y Depresión del Balsas (SSA, 1982). El relieve del puerto y se área adyacente, muestra desniveles que van desde el nivel del mar en la costa, hasta los 3,000 m.s.n.m. en la zona continental.

La planicie costera del Pacífico se localiza entre la Sierra Madre del Sur y el Océano Pacífico, formando una faja ininterrumpida. La porción litoral está constituida por una sucesión de caletas, planicies, bahías, acantilados, peñascos, terrazas y médanos en proceso de sedimentación o ya sedimentados como resultado de la erosión eólica y marina. Como parte de la Sierra Madre del Sur son conocidas algunas sierras locales como, El Coalcomán al NW de Lázaro Cárdenas y La Sierra del Espinazo del Diablo al norte del mismo. Finalmente la depresión del Balsas tiene relieve ondulado y montañoso presentando en sus partes bajas depósitos sedimentarios (SSA, 1982).

Climatología

El clima del puerto es tropical - húmedo con lluvias de verano. Presenta una temperatura media anual de 26°C, llegando a registrarse máximas de 35°C y mínimas de 12°C. Según la clasificación de Köppen, modificada por García (1983), se presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias de verano e

invierno seco, este último con una precipitación inferior al 5% anual ($Aw_1(w)$).

En promedio se tienen 207 días despejados en el año, lo que da un alto grado de insolación. La temporada de lluvias es de junio a octubre, siendo septiembre el mes más lluvioso. El promedio anual de lluvias es de 1,200 mm. Vientos dominantes del suroeste y oeste, comenzando a soplar después del mediodía, con una velocidad de 14.4 a 18 km/h. Durante la noche, el viento sopla de tierra a mar con una velocidad media de 7.2 km/h. Datos de un período de 44 años indican que la ocurrencia de ciclones es más probable al inicio o término de la época de lluvias, siendo mínima en los meses intermedios (SSA, 1982).

El Puerto Industrial Lázaro Cárdenas y su área de influencia se localizan en la costa del océano Pacífico, entre los 17°30' y 19°45' de latitud norte y 101°50' y 102°50' de longitud oeste, ocupa una superficie de 11,600 km² y abarca cinco municipios: Arteaga, Lázaro Cárdenas, Coahuayutla, La Unión y José Azueta (Zihuatanejo), los dos primeros del Estado de Michoacán y los restantes del Estado de Guerrero (Fig 1).

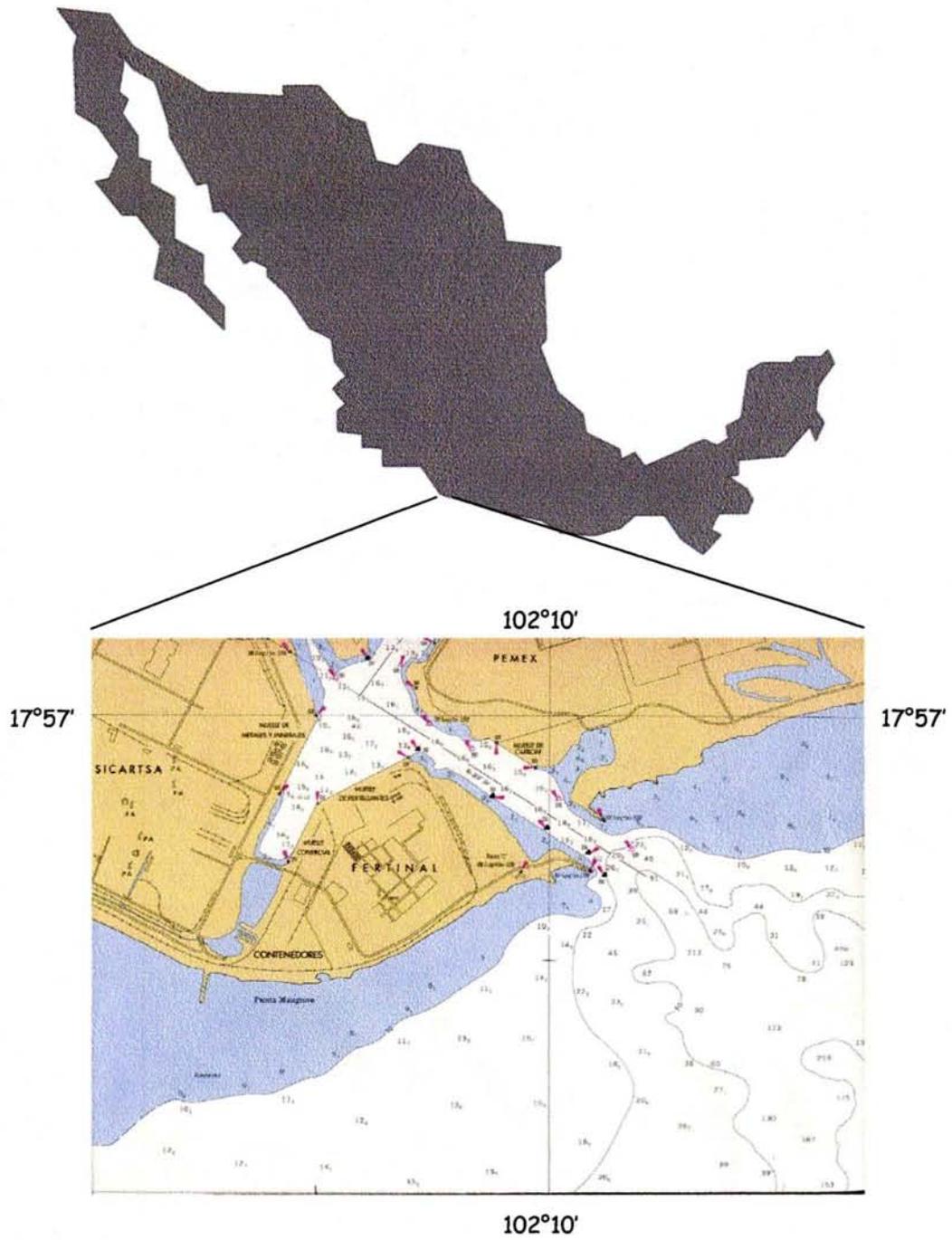


Figura 1. Área de Estudio.

5. METODOLOGÍA

Muestreo y Análisis de agua

Se llevaron a cabo cuatro muestreos: uno en julio de 1994, otro en febrero de 1995, uno más en agosto de 1995 y el último en julio de 1996; las muestras de agua a nivel superficial, sedimento y bentos se obtuvieron realizando un muestreo en 25 estaciones; las estaciones fueron ubicadas en un abanico de 145° a partir de la desembocadura del Balsas. El abanico fue dividido en ocho transectos los cuales estuvieron situados a 50 m de distancia entre sí, cada transecto contó con tres estaciones, las muestras fueron tomadas desde lanchas de fibra de vidrio de 7 m de eslora con motor fuera de borda de 45 h.p., 18 estaciones se consideraron dentro de la zona de descarga (situadas al suroeste de la desembocadura del río), seis estaciones como testigo (localizadas al sureste de la desembocadura) y una en la desembocadura del Río Balsas (Fig. 2), en cuatro períodos, uno en época de secas (febrero) y tres en la temporada de lluvias (julio - agosto), con el fin de tener datos de las estaciones del año más extremas. No se consideró la marea debido a que las descargas son intermitentes. Para la columna de agua, con ayuda de botellas Niskin, se tomaron muestras de 3 l/muestra. Las muestras se transportaron a la Ciudad de México donde se analizaron, manteniéndolas en refrigeración, adicionando ácido nítrico concentrado para las de metales pesados y fijando aquellas en las que se midió el consumo de oxígeno con sulfato manganeso y yoduro alcalino Strickland y Parsons (1972) y APHA (1988).

Los parámetros fisicoquímicos que se determinaron fueron: pH, temperatura, salinidad (todos *in situ*), sólidos sedimentables y suspendidos, oxígeno disuelto, demanda biológico de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), carbonato de calcio, nitritos, nitratos, amonio, ortofosfatos, silicatos, flúor y metales pesados totales (plomo, zinc, cromo, cadmio y aluminio), en la Ciudad de México, siguiendo los métodos descritos por Strickland y Parsons (1972) y APHA (1988).

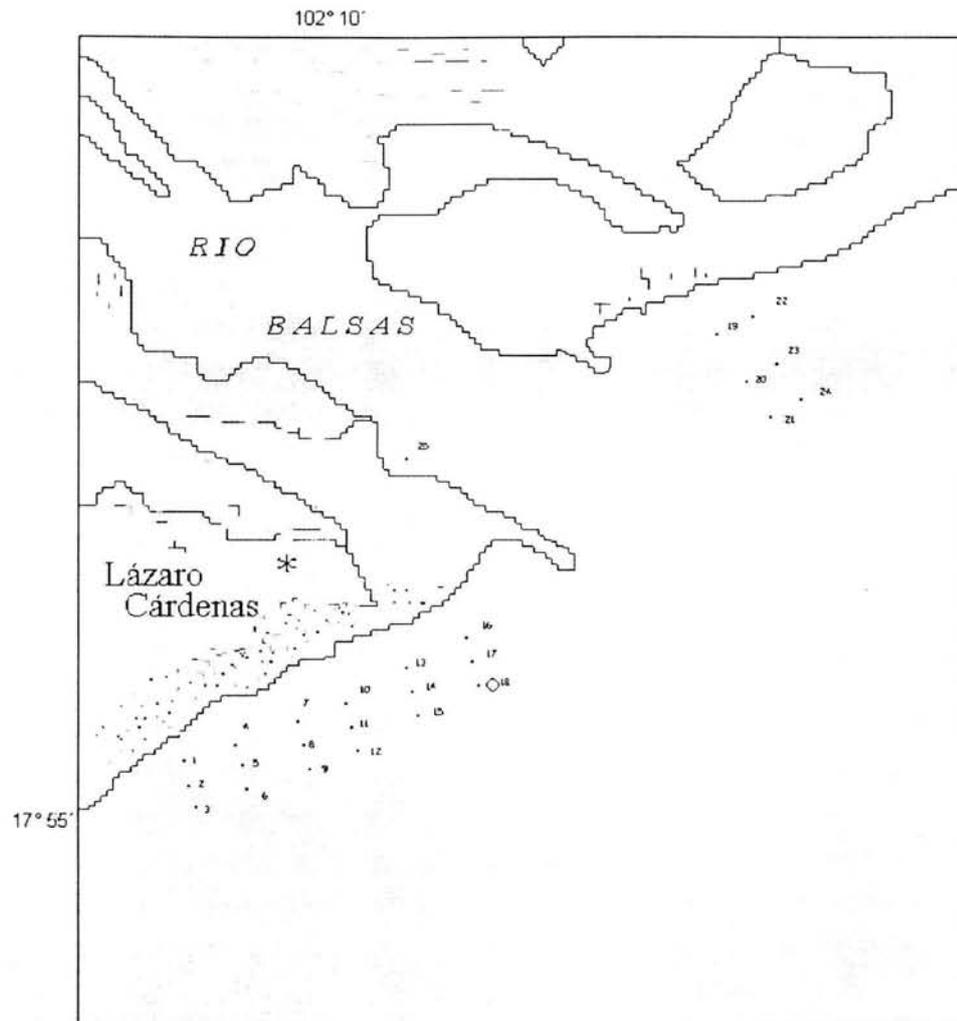


Fig. 2. Estaciones de muestreo para agua, sedimento y bentos.

○ Emisor

Sedimento

Las muestras de sedimento se obtuvieron con una draga Van Veen de 3 l de capacidad, con un área de 0.1 m², se llevaron a cabo un total de 10 lances por estación. Las muestras se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis. La estimación de materia orgánica en los sedimentos se llevó a cabo por la técnica de pérdida por ignición, después de realizar una combustión seca del material orgánico (Dean, 1974).

El sedimento de cada una de las estaciones fue también definido en cuanto a su textura, mediante la obtención del coeficiente de clasificación propuesto por Folk (1965), utilizándose para tamizar los siguientes números de malla: 8, 10, 16, 30, 40, 50, 100 y 200, que contemplan la separación de sedimentos constituidos por gravas hasta sedimentos muy finos (limo - arcillas).

Con los porcentajes de arena, limo y arcilla, se determinó el tipo de sedimento de cada estación graficando los valores en el triángulo propuesto por Shepard (Shepard, 1973).

Los metales pesados en los sedimentos fueron medidos mediante espectrofotometría de absorción atómica (APHA, 1988).

Límite de detección del método empleado para la determinación de metales pesados en sedimento:

Elemento	Límite de Detección del Método
Cadmio	0.1 µg/g
Cobre	0.06 µg/g
Plomo	0.01 µg/g
Zinc	0.01 µg/g

La verificación y el análisis de la composición arcillosa se hizo por el método de difracción de rayos X con un equipo Phillips PW-1050/25, con un cátodo de cobre de 30 Kw y 20 mA para la difracción, con previa eliminación de materia orgánica (H₂O₂) y eliminación de carbonatos con HCl al 10%, para evitar interferencia en el análisis de difracción.

Bentos y fitoplancton

La infauna se obtuvo a partir de muestras de sedimento tomadas con una draga Van Veen de 3 L. de capacidad, con un área de 0.1 m², haciéndose 10 lances por cada estación logrando un área muestreada de aproximadamente 1m². La separación de los organismos se efectuó por medio de un lavado en un juego de tamices de 0.5, 2 y 10 mm de abertura de malla colocado uno sobre otro. El material resultante se preservó en formol al 4% y rosa de Bengala en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas con la fecha y número de estación. Su separación por grupos e identificación, se llevó a cabo posteriormente en el laboratorio (Keen 1971; Linder 1983).

Para el análisis ecológico de la comunidad bentónica se calculó la abundancia total y diversidad por área de muestreo de la draga Van Veen (Krebs, 1989).

La diversidad se evaluó por medio del índice de Shannon - Wiener, expresándose ésta en bits, entendiéndose esto como una medida de la magnitud de la incertidumbre de modo que ésta última aumenta conforme lo hace el valor de la diversidad. Se obtuvieron además mediciones de igualdad a través de la diversidad máxima esperada (H_{máx}) siendo (Krebs, 1989):

$$H_{máx} = S (S \log_2 S) \log_2 S$$

donde:

H_{máx} = índice de diversidad máxima o valor máximo de H esperado, bajo condiciones de igualdad.

S = número de especies de la comunidad.

De acuerdo con esto, también se puede expresar o diferir a la igualdad como la proporción siguiente (Krebs, 1989):

$$j = h/H \text{ máx}$$

donde:

j = equidad (de 0 a 1)

h = diversidad de Shannon-Wiener

H_{máx} = diversidad máxima.

La equidad se entiende como un índice que muestra la posibilidad de que las especies (o géneros) tengan igualdad en sus abundancias, por lo que sus valores fluctúan de 0 a 1, donde 1.0 representa la situación donde las especies son igualmente abundantes.

Para la evaluación de las alteraciones en las comunidades infaunales debido a la contaminación, se aplicó el método log-normal, el cual emplea una escala geométrica en logaritmo base dos. Una vez hecha la conversión de escala, los datos de abundancia fueron representados como una distribución normal. Cuando se analiza la distribución de individuos por especie del tipo log-normal, se observa una distribución normal truncada del lado izquierdo. Esta ilustra que en condiciones de disturbio moderado, la mayoría de las especies tienen abundancias bajas o medianas debido al efecto de muchos factores que actúan al azar. Después de condiciones de disturbio o contaminación, unas pocas especies tolerantes u oportunistas alcanzan gran abundancia, esto modifica el patrón gráfico y puede emplearse para evaluar la calidad ambiental (Gray, 1981; Warwick, 1986; Salazar - Vallejo, 1991).

El método contempla tres fases, una de ausencia de alteración, una transitoria y una fase de contaminación. En la fase de no - alteración, el estado del agua que soporta la comunidad no se encuentra afectada, registrándose las especies (abundancia) en pocas clases geométricas. La fase transitoria se caracteriza por la aparición de especies más competitivas o más tolerantes, con el incremento de clases geométricas. La fase de contaminación está caracterizada totalmente por el establecimiento de especies adaptadas a los cambios en el ambiente, registrándose un aumento en el número de clases geométricas (Gray, 1981; Warwick, 1986; Salazar - Vallejo, 1991).

Por otro lado, se realizó una revisión bibliográfica para obtener datos de fitoplancton (Fig. 3) y pesquerías en la zona, con el fin de conocer si también en este tipo de comunidades han habido cambios en la abundancia y diversidad.

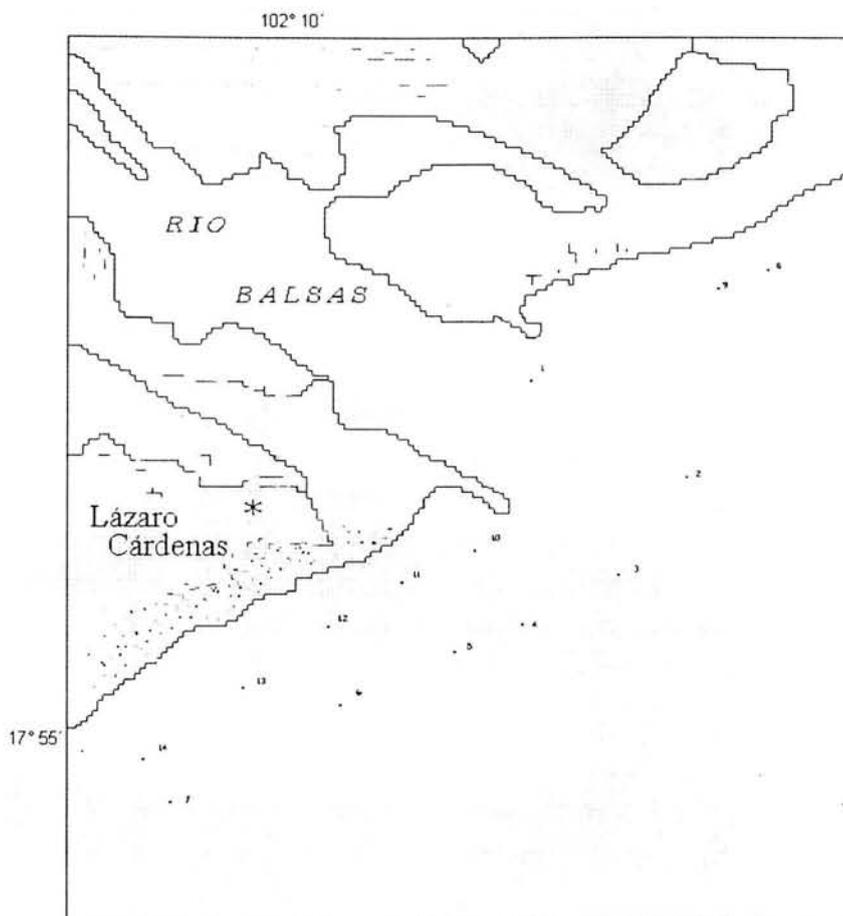


Fig. 3. Estaciones de muestreo para fitoplancton.

Tratamiento de datos

Los resultados obtenidos se analizaron desde dos puntos de vista, el ecológico y el de la calidad del agua, para cubrir este último punto, se compararon los resultados obtenidos con los parámetros establecidos por instituciones gubernamentales como la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales (NOM-ECOL-001-1996). Además se realizaron isolíneas que ayudaron a determinar la forma de dilución y dispersión de las emisiones.

Las isolíneas se llevaron a cabo por medio del método geoestadístico de Kriging, que produce mapas con apariencia continua a partir de datos irregularmente espaciados. Este método tiende a expresar las tendencias

sugeridas por los datos, por ejemplo, datos elevados pueden conectarse a lo largo de una isolínea o quedar aislados por contornos tipo ojo.

El método de Kriging genera una malla interpolada y estima los valores de los puntos en los nodos de la malla. El método incorpora cuatro detalles esenciales que son:

1. Cuando se calculan los pesos en la interpolación, el algoritmo considera el espacio entre el punto a ser interpolado y la localización de los datos. El algoritmo considera además el espacio entre datos. Esto para permitir la mejor selección de los datos.
2. Cuando se calculan los pesos en la interpolación, el algoritmo considera la longitud inherente de la escala de los datos. Por consiguiente el algoritmo ajusta los pesos de interpolación.
3. Cuando se calculan los pesos en la interpolación, el algoritmo considera el valor de confianza inherente de los datos. Si la medida de los datos está suficientemente precisa y exacta, la superficie interpolada va hacia uno de los valores observados. Si los datos medidos son sospechosos, la superficie de interpolación puede no ir a un valor observado, especialmente si un valor particular esta totalmente en desacuerdo con los valores vecinos observados. Esta es una consecuencia de la respetabilidad de los datos.
4. Los fenómenos naturales son creados por procesos físicos. A veces los procesos físicos tienen orientaciones preferentes. Por ejemplo, en la boca de un río el material grueso se sedimenta más rápidamente, mientras que el material fino toma más tiempo en sedimentarse. De esta manera, los más cercanos a la línea de costa son los sedimentos más gruesos, mientras que los más alejados de la costa son los sedimentos más finos. Cuando se calculan los pesos de interpolación, el algoritmo incorpora esta anisotropía natural. Cuando se interpola en un punto, una observación a 100 m pero en dirección paralela a la línea de costa tiende a ser más similar al valor en el punto de interpolación que es una observación equidistante en una dirección perpendicular a la línea de costa.

Los puntos dos, tres y cuatro incorporan algo acerca de procesos subyacentes de los cuales las observaciones fueron tomadas. La longitud de la escala, la respetabilidad de los datos y la anisotropía no son funciones de la localización de los datos. Estos entran dentro del algoritmo de Kriging

vía el variograma. La longitud de la escala esta dada por el intervalo del variograma (o pendiente), la respetabilidad de los datos es específica para el efecto "nugget" y la anisotropía esta dada por ella misma (Abramowitz y Stegun, 1972; Journel y Huijbregts, 1978; Journel, 1989; Cressie, 1990, 1991; Lambert et al., 1999).

A los datos a partir de las muestras del bentos se les aplicaron los índices de diversidad, para conocer las diferencias con respecto a la información anteriormente producida.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros Hidrológicos y de Calidad del Agua:

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en julio de 1994, febrero y agosto de 1995 y julio de 1996, se muestran en las tablas 1 a 4.

Temperatura:

La temperatura mostró un comportamiento espacialmente homogéneo. Las fluctuaciones en una escala temporal marcaron variaciones estacionales, similares a las observadas en los océanos de zonas tropicales. En los meses de julio - agosto, la temperatura promedio fue de 30.3°C con una variación entre estaciones de 0.5°C . En febrero, la temperatura promedio fue de 28.3°C con una variación entre estaciones de 1.2°C . El comportamiento de la temperatura observado durante el estudio, indicó que en la descarga tuvo un promedio de 34°C y no influencia térmicamente el medio, ya que ésta presentó un comportamiento de un ambiente situado en latitudes tropicales, con mayor irradiación en los meses de verano que calienta las aguas (Fig. 4). En febrero de 1995, la estación 22 presentó una disminución de temperatura con respecto a las estaciones circundantes, ésta estación se localizó al sureste de la desembocadura del Balsas, frente a la costa.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos evaluados en las aguas a nivel superficial en julio de 1994

ESTACION	TEMPERATURA °C	SALINIDAD Psu	O ₂ disuelto ml/l	NO ₃ µM	PO ₄ µM	SiO ₄ µM	pH	CaCO ₃ mg/l	DQO mg/l	Zn µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l	Al mg/l	FLUOR mg/l
1	30.0	32.0	4.53	24.20	11.39	0.90	1.8	123	8.79	610	75.00	52.35	0.38	1.23
2	30.0	31.5	5.84	6.53	15.65	0.82	4.9	107	5.86	580	81.80	73.55	0.51	1.16
3	30.0	33.0	4.38	4.18	16.83	0.93	1.6	136	36.6	580	53.25	70.35	0.59	1.14
4	30.0	32.0	3.56	5.72	18.06	0.78	2.3	117	< 3.00	70	127.80	43.80	0.29	1.27
5	30.0	31.0	4.20	4.59	13.65	0.91	3.2	132	5.86	1390	14.50	11.45	2.66	0.86
6	30.0	31.0	3.82	3.28	10.77	0.83	2.7	122	3.00	210	17.25	0.80	0.52	1.02
7	30.0	32.0	5.55	4.73	17.56	0.78	5.3	130	29.51	80	88.00	54.44	0.47	1.27
8	30.0	32.0	5.84	4.88	18.58	0.82	2.7	140	5.86	70	22.00	0.77	0.34	1.08
9	30.5	32.0	3.70	21.08	18.65	0.82	7.4	143	3.00	80	61.50	50.70	0.58	1.07
10	31.0	32.0	4.39	4.88	16.49	0.66	7.2	138	4.43	70	18.05	1.09	0.74	0.78
11	31.0	32.0	4.82	5.46	15.74	0.65	7.6	138	4.36	120	15.75	2.27	0.63	0.85
12	31.0	32.0	4.82	4.66	16.49	0.66	7.2	138	2.93	140	80.95	89.20	1.03	0.86
13	30.0	31.5	6.48	6.11	19.16	0.77	8.0	138	14.29	60	79.75	143.5	0.44	1.24
14	30.2	31.5	3.30	18.6	15.67	0.69	8.0	133	7.36	110	59.55	77.20	2.13	1.25
15	30.2	32.0	3.48	29.49	3.50	0.53	8.0	133	1.93	60	32.65	44.35	0.75	0.87
16	30.5	32.0	4.44	6.30	18.73	0.62	8.0	138	8.71	90	85.60	55.90	0.52	1.09
17	30.5	32.5	4.98	64.22	15.58	0.58	7.5	136	1.66	100	83.65	55.9	0.62	1.86
18	31.0	30.0	4.38	11.94	20.08	0.56	2.7	133	11.26	90	52.75	64.15	1.68	1.37
19	30.0	32.0	5.84	3.39	17.03	3.26	7.7	123	17.58	80	18.75	15.67	1.48	0.75
20	30.2	32.0	3.80	36.98	13.67	0.95	8.0	136	3.00	60	51.15	68.70	2.01	0.80
21	30.5	32.0	4.39	36.88	1.92	0.70	8.0	145	3.00	50	12.60	41.10	1.44	0.86
22	30.2	32.0	5.84	36.88	13.50	3.13	8.0	126	12.73	100	14.80	30.77	1.02	0.52
23	30.0	32.0	3.65	37.0	20.04	0.8	8.0	122	3.20	90	51.40	60.70	1.84	0.75
24	30.5	32.0	4.77	2.89	20.08	2.76	7.8	134	3.55	70	50.95	52.20	0.38	0.83
25	30.0	22.0	4.10	35.25	3.33	11.03	7.6	64	14.72	50	147.20	113.10	0.9	1.8
MEDIA	30.3	31.4	4.6	16.8	14.9	1.4	6.0	129.0	8.5	200.4	55.9	51.0	1.0	1.1
D.S.	0.37	2.04	0.88	16.45	5.16	2.14	2.45	16.12	8.74	300.15	36.19	35.00	0.66	0.31
MAX	31.0	33.0	6.5	64.2	20.1	11.0	8.0	145.0	36.6	1390.0	147.2	143.5	2.7	1.9
MIN	30.0	22.0	3.3	2.9	1.9	0.5	1.6	64.0	0.0	50.0	12.6	0.8	0.3	0.5

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos evaluados en las aguas a nivel superficial en febrero de 1995

ESTACION	TEMPERATURA °C	SALINIDAD psu	O ₂ disuelto ml/l	NO ₂ µM	PO ₄ µM	SiO ₄ µM	pH	CaCO ₃ mg/l	DQO mg/l	DBO mg/l	SST mg/l	SS mg/l	Zn µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l	Cu µg/l	Al mg/l	FLUOR mg/l	Cond. mho/cm
1	29.1	34.3	5.5	0.40	0.03	0.78	7.78	160.95	10.50	0.5	39.44	0.08	50	220	80	0.06	0.29	1.07	17.3
2	23.8	31.7	5.8	0.37	0.08	0.84	7.61	109.91	14.72	1.1	33.30	0.05	110	200	70	0.04	0.37	0.84	55.1
3	28.8	34.9	5.9	0.15	0.06	0.78	7.74	110.19	11.01	1.0	36.12	0.01	100	230	70	0.03	0.23	0.89	54.8
4	28.0	34.8	5.9	0.14	0.06	0.84	8.14	110.02	7.84	0.9	36.24	0.01	30	210	60	0.04	0.18	0.91	55.0
5	28.3	34.9	6.1	0.14	0.07	0.68	8.12	115.89	5.86	1.1	36.14	0.04	80	220	70	0.03	0.42	0.86	55.2
6	28.5	35.0	6.0	0.13	0.07	0.57	8.06	115.07	8.06	0.8	36.97	0.01	30	240	70	0.03	0.60	0.89	55.1
7	28.7	35.0	5.4	0.12	0.05	0.83	8.20	113.72	8.55	0.5	36.39	0.02	70	250	70	0.03	0.21	0.83	55.2
8	28.3	35.4	5.5	0.05	0.11	0.78	8.17	116.29	5.66	0.7	37.26	0.05	50	310	60	0.02	0.23	0.96	55.4
9	28.2	35.2	5.7	0.15	0.06	0.68	8.20	124.54	5.56	0.7	36.80	0.01	90	260	60	0.03	0.47	0.80	55.30
10	28.3	35.0	5.7	0.13	0.09	0.62	8.24	123.30	4.38	0.6	36.12	0.10	100	270	60	0.02	0.18	0.81	55.3
11	28.4	35.3	5.7	0.12	0.24	0.36	8.19	119.23	4.38	1.0	36.85	0.09	80	210	50	0.02	0.16	1.14	55.3
12	30.3	34.7	5.6	0.13	0.05	1.62	8.22	109.89	5.06	1.1	36.80	0.08	70	190	70	0.03	0.23	0.79	55.1
13	28.3	28.8	5.5	0.12	5.55	5.98	5.84	117.70	4.23	0.5	33.63	0.10	130	210	60	0.05	0.37	2.78	48.8
14	28.0	34.8	5.30	0.11	4.81	2.91	6.91	110.29	5.75	0.5	36.13	0.15	80	180	50	0.02	4.37	2.68	55.1
15	28.5	35.2	5.4	0.12	0.32	0.83	7.79	119.90	8.06	1.0	37.50	0.07	150	120	50	0.04	0.37	0.85	54.9
16	28.5	31.0	5.3	0.11	4.35	2.80	7.59	110.86	4.21	1.1	35.95	0.08	110	180	70	0.04	2.33	3.85	19.4
17	27.9	34.7	5.5	0.15	0.34	0.62	8.09	123.03	7.36	0.3	36.59	0.10	30	180	70	0.04	0.80	1.12	55.0
18	28.7	35.5	5.4	0.13	0.08	0.57	8.07	119.57	4.25	0.6	37.76	0.08	80	210	50	0.03	0.97	0.83	54.9
19	28.7	34.6	5.3	0.16	0.10	1.05	8.01	123.31	9.38	0.9	36.42	0.02	50	180	50	0.03	0.40	0.86	55.3
20	30.7	35.0	5.7	0.14	0.08	1.16	8.13	125.08	8.75	0.5	39.61	0.09	70	170	60	0.03	0.23	0.86	55.20
21	28.1	35.6	5.8	0.12	0.05	0.94	8.20	122.75	4.34	1.0	36.40	0.08	50	160	60	0.04	0.50	0.81	55.1
22	27.1	29.1	5.4	0.05	0.04	0.73	8.10	124.67	4.56	0.7	39.50	0.72	30	150	60	0.04	0.44	0.80	47.0
23	28.2	23.3	6.0	0.17	0.04	0.78	8.19	125.29	7.23	0.4	35.49	0.66	30	170	70	0.03	0.51	0.75	37.5
24	28.3	39.9	5.6	0.13	0.03	1.42	8.19	124.25	4.30	0.1	37.61	0.67	30	180	40	0.04	0.43	0.80	47.4
25	28.0	31.3	4.9	0.11	2.70	3.54	7.66	95.90	4.36	0.5	35.04	0.66	70	170	50	0.02	2.10	8.36	48.7
MEDIA	28.3	33.8	5.6	0.1	0.8	1.3	7.9	118.9	6.7	0.7	36.6	0.2	70.8	202.8	61.2	0.03	0.7	2.4	50.3
D.S.	1.18	3.17	0.28	0.08	1.65	1.26	0.53	11.29	2.70	0.28	1.50	0.23	33.53	41.79	9.71	0.01	0.94	5.53	10.51
MAX	30.7	39.9	6.1	0.4	5.6	6.0	8.2	161.0	14.7	1.1	39.6	0.7	150.0	310.0	80.0	0.1	4.4	2.78	55.4
MIN	23.8	23.3	4.9	0.05	0.03	0.4	5.8	95.9	4.2	0.1	33.3	0.0	30.0	120.0	40.0	0.0	0.16	0.8	17.3

SST = Sólidos Suspendidos Totales y SS = Sólidos Sedimentables

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos evaluados en las aguas a nivel superficial en agosto de 1995

ESTACION	TEMPERATURA °C	SALINIDAD psu	O ₂ disuelto ml/l	NO ₂ μM	NO ₃ μM	PO ₄ μM	SiO ₄ μM	pH	CoCO ₃ mg/l	DQO mg/l	DBO mg/l	Zn μg/l	Pb μg/l	Cd μg/l	FLUOR mg/l
1	30.0	32.0	5.22	0.02	0.08	4.28	2.96	9.1	244	0.54	4.15	282	42	1.7	1.00
2	30.0	32.0	5.03	0.02	5.08	1.30	2.65	9.2	260	0.54	3.87	276	50	1.9	0.90
3	30.0	32.0	5.41	0.01	0.96	0.00	2.58	9.3	276	0.81	5.0	264	26	1.8	0.90
4	30.0	32.0	6.95	0.02	6.59	1.30	2.69	7.5	260	0.54	6.62	287	30	2.8	1.00
5	30.0	31.0	6.95	0.17	13.61	1.81	3.40	8.8	240	2.18	5.52	255	26	2.2	1.00
6	30.0	32.0	6.95	0.05	8.49	0.43	3.08	9.0	264	0.54	6.62	287	69	3.1	1.00
7	30.0	32.0	4.83	0.07	6.81	36.95	3.31	9.0	252	0.81	4.15	228	48	3.2	1.30
8	30.0	32.0	4.64	0.15	1.59	0.80	2.58	9.1	264	0.54	2.21	222	34	2.7	0.9
9	31.0	32.0	4.83	0.07	1.34	7.75	2.23	9.0	280	0.54	3.59	277	80	2.7	1.00
10	31.0	32.0	5.03	0.11	2.25	145.64	3.88	8.9	256	0.81	2.76	218	66	3.4	2.00
11	31.0	33.0	5.22	0.13	0.93	1.45	2.31	9.0	220	0.54	4.42	207	52	3.0	0.9
12	31.0	32.0	5.22	0.15	7.23	0.72	3.04	9.1	268	0.54	4.15	216	54	3.1	1.00
13	30.0	33.0	5.22	0.13	0.74	5.87	2.38	9.0	284	0.54	4.42	213	76	3.0	1.00
14	30.5	32.0	4.83	0.11	4.44	2.61	2.50	8.9	252	0.81	2.76	193	59	2.9	1.00
15	30.5	33.0	4.45	0.15	4.85	2.82	2.31	9.0	268	0.54	3.59	249	48	2.5	1.00
16	30.5	32.0	6.77	0.19	0.57	7.39	2.77	8.9	256	0.27	5.80	226	63	2.7	1.00
17	30.5	32.0	4.64	0.17	1.66	1.74	2.31	9.1	272	0.81	3.04	184	64	2.5	0.90
18	31.0	32.0	5.22	0.19	1.57	0.00	1.96	9.1	252	0.54	4.15	262	60	2.4	0.90
19	30.0	22.0	5.41	0.42	7.04	15.07	9.38	8.9	232	1.09	3.6	208	76	2.9	1.00
20	30.5	32.0	7.53	0.25	6.68	0.36	2.73	9.1	264	1.09	7.7	227	80	2.1	0.90
21	31.0	32.0	7.53	0.15	2.32	1.52	3.23	9.0	256	0.54	7.5	232	74	1.6	0.70
22	30.5	31.0	7.53	0.28	2.51	0.43	3.54	9.2	252	0.54	6.62	223	84	2.0	1.00
23	30.0	32.0	4.48	0.15	0.21	0.07	2.00	9.4	252	0.54	4.15	231	70	1.5	0.90
24	30.5	32.0	5.61	0.18	1.83	0.14	2.00	9.6	252	0.82	4.15	220	80	2.1	0.90
25	-	2.0	5.22	0.99	10.53	26.81	20.77	7.5	68	1.90	3.31	380	72	2.5	3.00
MEDIA	30.4	30.4	5.62	0.17	4.00	10.7	3.70	8.9	249.8	0.8	4.6	242.7	59.3	2.5	1.1
D.S.	0.42	6.27	7.90	0.19	3.57	29.48	3.83	0.47	40.45	0.43	1.50	41.10	17.75	0.54	0.46
MAX	31.0	33.0	7.53	0.99	13.6	145.6	20.8	9.6	284.0	2.2	7.7	380.0	84.0	3.4	3.0
MIN	30.0	2.00	4.45	0.01	0.08	0.00	1.96	7.5	68.0	0.3	2.2	184.0	26.0	1.5	0.7

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos evaluados en las aguas a nivel superficial en julio de 1996

ESTACION	TEMPERATURA °C	SALINIDAD psu	O ₂ disuelto. ml/l	NO ₃ μM	PO ₄ μM	SiO ₄ μM	pH	CaCO ₃ mg/l	DQO mg/l	SST mg/l	Zn μg/l	Pb μg/l	Cd μg/l	Cr μg/l	Al mg/l	FLUOR mg/l
1	30.0	31.0	6.60	1.90	3.00	1.20	7.1	150	10.40	0.04	150	114	100	< 0.01	0.39	1.15
2	30.0	31.0	6.50	1.50	2.50	1.00	7.0	150	10.00	0.04	150	116	110	< 0.01	0.35	1.15
3	30.0	32.0	4.00	0.90	1.90	1.00	7.1	110	10.01	0.0	120	115	110	< 0.01	0.29	1.10
4	30.0	31.0	4.50	1.10	1.50	1.10	7.1	110	10.00	0.04	100	110	50	< 0.01	0.30	1.09
5	30.0	34.0	4.10	0.95	2.21	1.10	7.3	115	10.30	0.04	100	112	83	< 0.01	0.39	1.03
6	30.0	31.0	3.80	1.10	1.30	1.00	7.1	120	10.29	0.04	110	110	83	< 0.01	0.39	1.10
7	30.0	31.0	5.10	1.15	1.90	1.00	7.0	120	10.30	0.05	100	110	110	< 0.01	1.10	1.10
8	30.0	31.0	5.10	0.90	1.25	1.2	7.3	110	6.20	0.04	100	114	110	< 0.01	0.36	1.15
9	31.0	31.0	4.30	0.75	1.20	0.9	7.3	150	10.00	0.05	130	114	100	< 0.01	0.36	1.10
10	31.0	31.0	4.00	0.50	2.21	0.95	7.5	130	8.70	0.05	100	110	100	< 0.01	0.30	1.11
11	31.0	31.0	4.10	1.20	2.30	0.80	7.3	130	8.00	0.04	100	111	110	< 0.01	0.30	1.11
12	31.0	31.0	5.00	0.90	2.19	1.00	7.3	134	8.60	0.03	180	111	80	< 0.01	0.28	1.10
13	30.0	31.0	4.90	0.75	2.30	1.10	7.5	120	8.65	0.03	180	110	80	< 0.01	0.88	1.10
14	30.5	31.0	4.20	1.10	2.14	1.15	7.3	121	8.70	0.03	160	110	110	< 0.01	0.30	1.10
15	30.5	31.0	4.10	1.50	1.90	1.00	7.1	110	7.01	0.05	150	110	100	< 0.01	0.30	1.10
16	30.5	31.0	4.00	0.45	1.50	1.10	7.4	110	8.00	0.03	150	114	100	< 0.01	0.35	1.11
17	30.5	31.0	3.90	1.10	1.33	1.00	7.6	120	9.90	0.03	100	114	110	< 0.01	0.35	1.11
18	31.0	31.0	4.70	0.75	2.11	1.00	7.3	131	8.00	0.03	100	112	111	< 0.01	0.20	1.15
19	30.0	31.0	5.00	0.70	1.91	1.10	7.9	132	9.90	0.04	100	112	100	< 0.01	0.30	1.10
20	30.5	31.0	4.30	1.75	1.50	1.20	8.0	132	10.10	0.04	180	110	100	< 0.01	0.31	1.11
21	31.0	31.0	4.20	1.10	1.11	1.10	8.0	130	10.00	0.04	100	111	110	< 0.01	0.31	1.15
22	30.5	31.0	4.15	1.50	1.10	1.10	8.1	130	10.12	0.03	100	111	110	< 0.01	0.30	1.15
23	30.0	31.0	4.11	1.80	0.90	2.10	7.9	130	8.70	0.05	110	110	100	< 0.01	0.29	1.11
24	30.5	31.0	3.90	1.10	1.19	2.11	7.9	128	8.30	0.04	110	110	100	< 0.01	0.29	1.11
25	30.1	26.0	4.10	2.10	2.11	2.15	7.3	130	8.00	0.04	100	110	110	< 0.01	0.29	1.11
MEDIA	30.4	31.0	4.51	1.14	1.8	1.18	7.4	126.1	9.1	0.04	123.2	111.6	99.5	-	0.37	1.1
D.S.	0.41	1.21	0.73	0.43	0.53	0.37	0.34	12.18	1.16	0.01	29.54	1.93	14.42	-	0.19	0.03
MAX	31.0	34.0	6.6	2.1	3.0	2.2	8.1	150.0	10.4	0.05	180.0	116.0	111.0	-	1.10	1.2
MIN	30.0	26.00	3.80	0.45	0.90	0.80	7.0	110.0	6.2	0.0	100.0	110.0	50.0	-	0.20	1.0

SST = Sólidos Suspendidos Totales

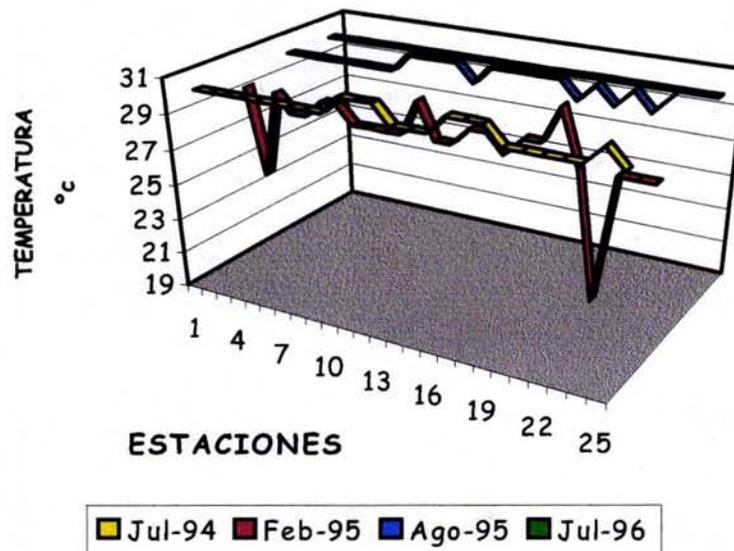


Fig. 4. Temperatura en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Salinidad:

La salinidad también presentó un comportamiento espacialmente homogéneo, con excepción de la estación 25 situada en la margen derecha del Río Balsas. En julio - agosto la salinidad tuvo un promedio de 30.9 psu, mientras que, en febrero fue de 33.8 psu. Como se observa en la figura 5, la salinidad en julio - agosto fue más baja, época con mayor precipitación pluvial (181.3 mm) (Servicio Meteorológico Nacional, 2000) y por el incremento del mayor aporte del Río Balsas, provocando un decremento en la salinidad superficial. La salinidad no fue afectada por las descargas producidas por FERTINAL, esto se evidencia a partir del comportamiento marino en las estaciones localizadas en esta área y salobre en el estuario.

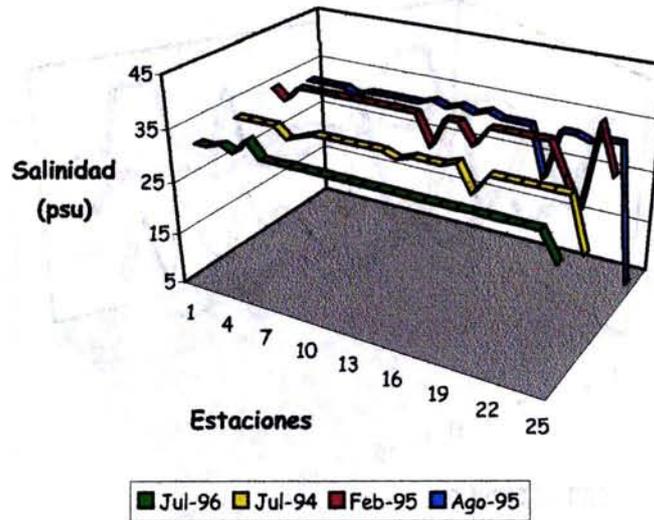


Fig. 5. Salinidad en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Oxígeno Disuelto:

El contenido promedio de oxígeno disuelto en julio de 1994 y 1995 fue de 4.55 ml/l con un porcentaje de saturación de 106 y 104% respectivamente, en febrero y agosto de 1995 el promedio fue de 5.6 ml/l con un porcentaje de saturación de 127% (Tablas 1 a 4) (Fig. 6). El contenido de oxígeno disuelto máximo se observó en agosto de 1995 (7.53 ml/l y porcentaje de saturación de 173%) en las estaciones 20 a 22, localizadas al sureste de la desembocadura del Río Balsas. La cantidad de oxígeno disuelto en las aguas superficiales del Pacífico Tropical Mexicano, tanto en la costa como en la zona oceánica, se mantiene por arriba de 4 ml/l (Pacheco - Sandoval, 1991). En la costa occidental de Baja California, las aguas superficiales presentan concentraciones entre 5 y 6 ml/l (Torres y Gómez, 1991), por lo que, los niveles encontrados en el presente estudio son acordes con los registrados por otros autores, exceptuando el contenido máximo de agosto de 1995, que sobrepasa al observado anteriormente.

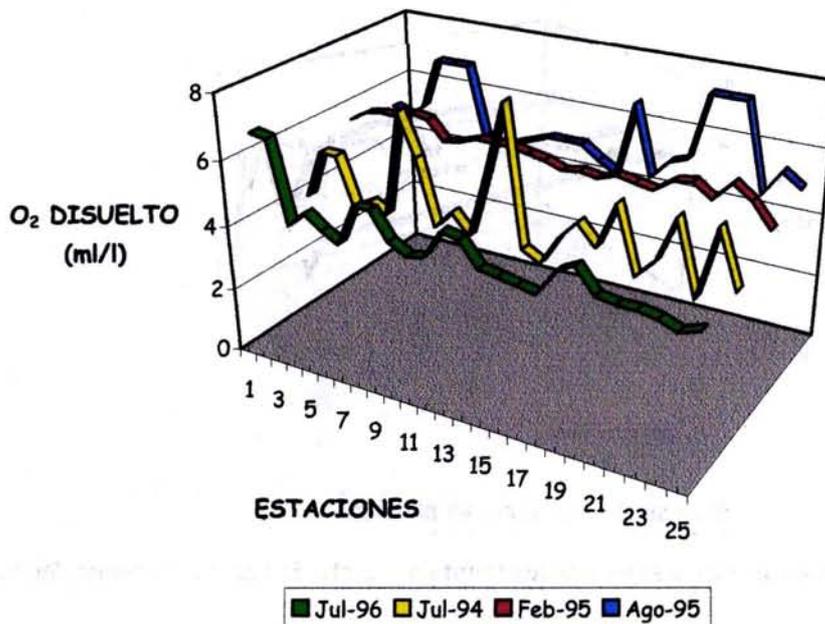


Fig. 6. Contenido de oxígeno disuelto en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Nutrientes:

Nitratos: La concentración promedio de nitratos para julio de 1994 fue de $16.8 \mu\text{M}$, en agosto de 1995 de $3.9 \mu\text{M}$ y en julio de 1996 de $1.1 \mu\text{M}$. En julio de 1994, presentaron las mayores concentraciones en las estaciones 17 ($64.22 \mu\text{M}$), 21 a 23 ($37 \mu\text{M}$) y 25 ($35.3 \mu\text{M}$) (Fig. 7).

Al realizarse las isóneas para conocer la distribución horizontal de este nutriente en julio de 1994 (Fig. 8), se observó que en el punto donde se lleva a cabo la descarga del agua residual, la concentración de nitratos fue de $35 \mu\text{M}$ con disminución hacia mar abierto, hasta alcanzar una concentración de $1 \mu\text{M}$. En el lado izquierdo de la desembocadura, se detectó un punto de $37 \mu\text{M}$ con un gradiente hacia mar abierto, hasta una concentración de $3 \mu\text{M}$. Una distribución más heterogénea se observó hacia la derecha de la desembocadura del Balsas; ahí se registró la máxima concentración en la estación 17 con $64 \mu\text{M}$ (a 200 m al norte de la fractura del yesoducto). La distribución de este nutriente como se observa en la figura 8, disminuyó de izquierda a derecha con un aumento puntual en la estación 1 localizada cerca de la dársena formada por FERTINAL y SICARTSA.

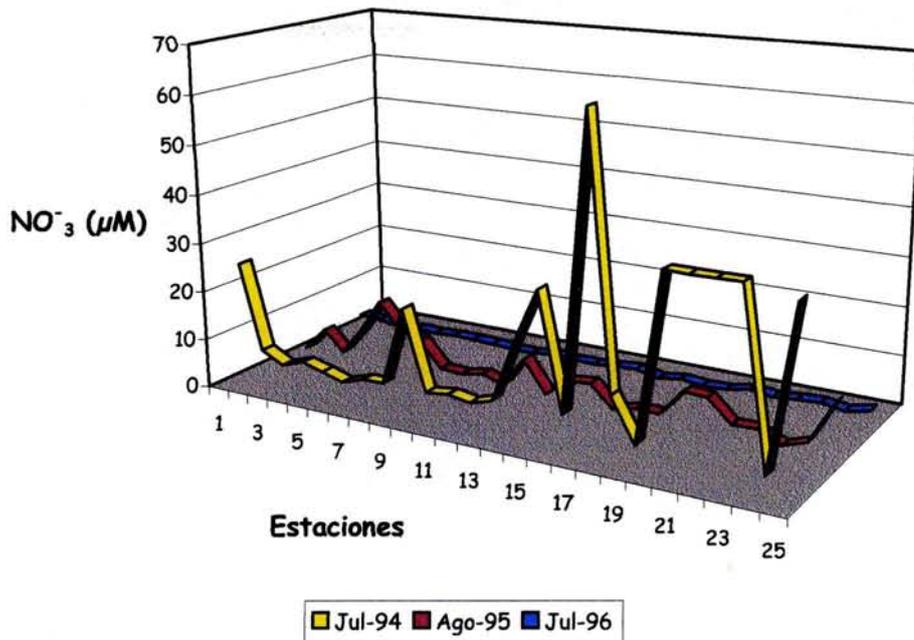


Fig. 7. Contenido de nitratos en las aguas superficiales frente al área marina del Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Es importante resaltar que los niveles obtenidos tanto en agosto de 1995 como en julio de 1996 (Tablas 3 y 4), se distribuyeron homogéneamente con un máximo ($10.53 \mu\text{M}$) en la estación 25 (efluente de aguas residuales). Estos contenidos se encuentran dentro de lo registrado para el litoral del Pacífico, que es de 1 a $10 \mu\text{M}$ (De la Lanza- Espino y Hernández - Pulido, 1990), y por arriba de los registrados para aguas superficiales en la Bahía de Mazatlán 0.91 a $3.93 \mu\text{M}$ (Alonso - Rodríguez *et al.*, 2000), el Golfo de Tehuantepec 0.07 a $0.9 \mu\text{M}$ (Secretaría de Marina, 1978), el Canal de Yucatán de $0.1 \mu\text{M}$ (Instituto Mexicano del Petróleo, 1980), el Caribe Mexicano $1.0 \mu\text{M}$ (Secretaría de Marina, 1980); la plataforma de Yucatán $0.25 \mu\text{M}$, la sonda de Campeche que van de 0.03 a $7.26 \mu\text{M}$ (Instituto Mexicano del Petróleo, 1980) y el suroeste del Golfo de México con $1.20 \mu\text{M}$ (Moulin, 1980). En Mazatlán, los intervalos registrados fueron entre 0.30 y $35.74 \mu\text{M}$ (Alonso Rodríguez *et al.*, 2000) los valores más altos registrados en este estudio ($64.22 \mu\text{M}$) son superiores a los registrados por los autores anteriores, ellos clasifican la zona donde se presentó el contenido de $35.74 \mu\text{M}$ como una zona eutrificada.

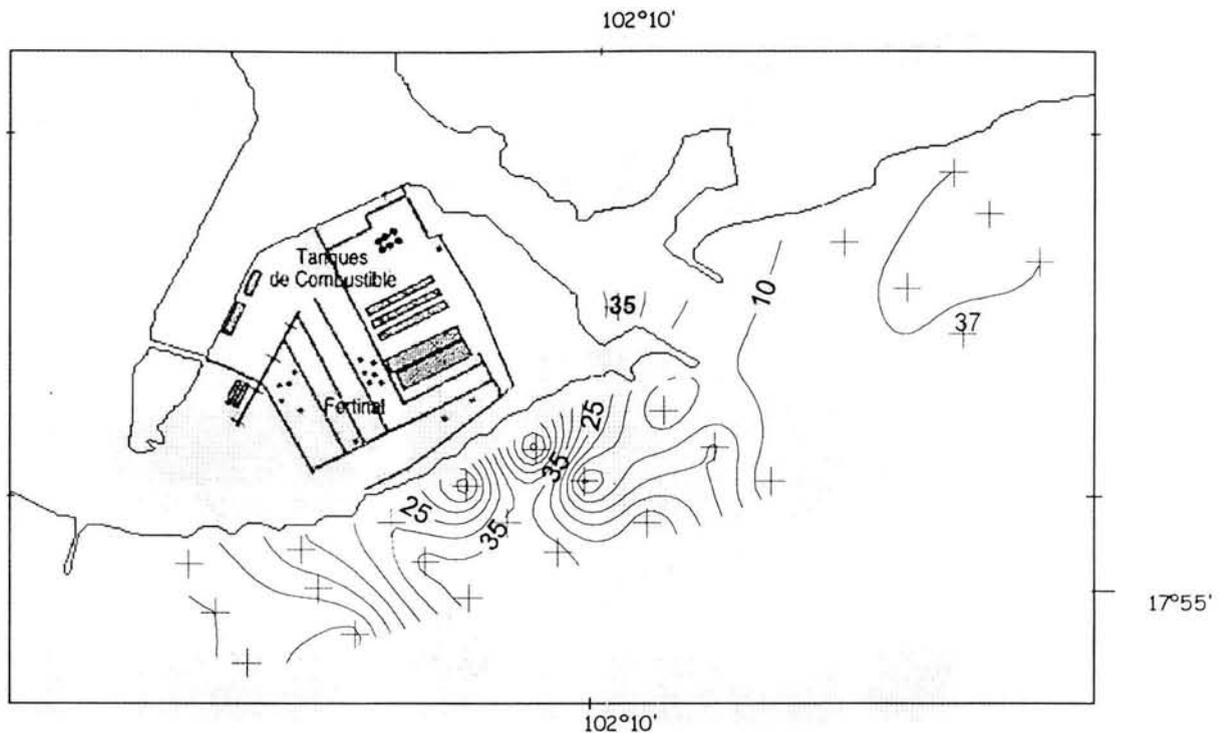


Fig. 8. Distribución horizontal de la concentración de nitratos en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. (julio de 1994)

Nitritos: Los nitritos presentaron en febrero, un promedio de $0.15 \mu\text{M}$ con un contenido máximo de $0.4 \mu\text{M}$ en la estación 1 (a 2.5 km al SW del río, frente a la dársena suroeste) y un mínimo de $0.05 \mu\text{M}$ en las estaciones 8 y 22 (localizadas respectivamente a 2 km al suroeste y 1 km al sureste de la desembocadura del Balsas). En agosto de 1995 el promedio fue de $0.17 \mu\text{M}$, con un nivel superior de $0.99 \mu\text{M}$ en la estación 25 ubicada en la margen derecha del río y un nivel inferior de $0.01 \mu\text{M}$ en la estación 3 (situada a 2.6 km al suroeste de la desembocadura) (Fig. 9). El contenido de nitritos en el Pacífico Mexicano puede variar entre concentraciones menores a $0.1 \mu\text{M}$ y $2 \mu\text{M}$ (De la Lanza-Espino y Hernández-Pulido, 1990), en la Bahía de Mazatlán el promedio anual en superficie fue de $0.13 \mu\text{M}$ (Alonso Rodríguez *et al*, 2000), en el Canal de Yucatán de 0.25 a $0.3 \mu\text{M}$ (Secretaría de Marina, 1980) y en el oeste del Golfo de México el contenido fue de $0.2 \mu\text{M}$ (Moulin, 1980); por lo que los valores encontrados de este parámetro frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, presentaron un comportamiento similar a lo encontrado en condiciones normales.



Fig. 9. Concentración de nitritos en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Nitrógeno amoniacal: Este fue indetectable ($< 0.01 \mu\text{M}$) en todos los muestreos. El intervalo típico en aguas del litoral del Pacífico es de < 0.01 a $2 \mu\text{M}$ (De la Lanza-Espino y Hernández-Pulido, 1990), por lo que esta forma del nitrógeno se encontró dentro del intervalo natural. A pesar de que uno de los subproductos que se obtiene en la fabricación del ácido fosfórico es amoníaco, el contenido de nitrógeno amoniacal fue indetectable, esto puede deberse a que esta forma del nitrógeno se oxida gradualmente a nitrito y posteriormente a nitratos dependiendo de las condiciones óxicas y composición de la materia orgánica, lo cual puede estarse reflejando en los contenidos de nitratos registrados. En otros sitios el registro de nitrógeno amoniacal ha sido de $13 \mu\text{M}$ en Cabo Catoche (Secretaría de Marina, 1980), $2.0 \mu\text{M}$ en el oeste del Golfo de México (Moulin, 1980), $5.22 \mu\text{M}$ promedio anual superficial en la Bahía de Mazatlán (Alonso - Rodríguez *et al*, 2000) y de 0.52 a $6.0 \mu\text{M}$ en el Golfo de Tehuantepec (Secretaría de Marina, 1978).

Ortofosfatos: Los ortofosfatos presentaron un nivel medio de $14.90 \mu\text{M}$ en julio de 1994, de $0.80 \mu\text{M}$ en febrero de 1995, de $10.70 \mu\text{M}$ en agosto de 1995 y de $1.80 \mu\text{M}$ en julio de 1996.

Las concentraciones más elevadas fueron las de agosto de 1995 (Fig. 10), con el nivel máximo en la estación 10 (145.60 μM) localizada a 1.5 km a la derecha de la desembocadura del Balsas, seguida por la estación 7 (36.95 μM) situada a 250 m aproximadamente al norte de la estación 10. La estación 25 en el río, también tuvo un nivel alto con 26.81 μM y la 19 con 15.07 μM localizada a 375 m al sureste de la desembocadura del río.

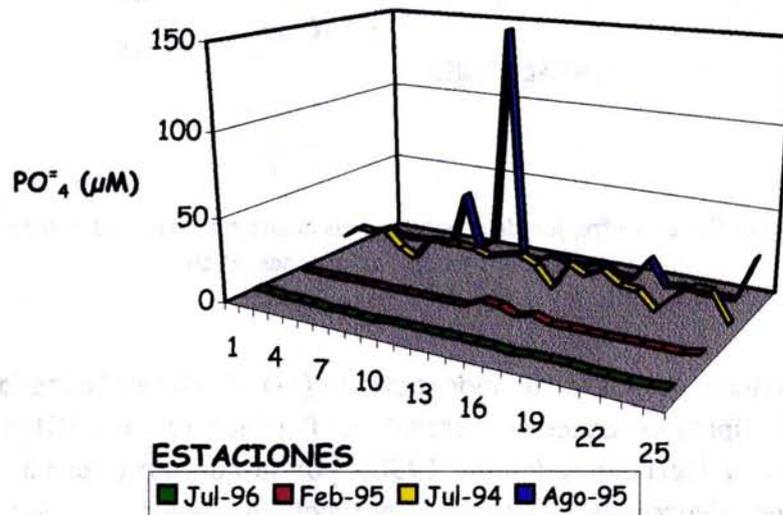


Fig. 10. Contenido de ortofosfatos en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

La distribución horizontal muestra que en julio de 1994 (Fig. 11), los ortofosfatos se distribuyeron homogéneamente en el área de estudio, al igual que en febrero de 1995 (Fig. 12). Las mayores variaciones se encontraron en agosto de 1995, con una concentración de 146 μM en la estación 10, con un gradiente de disminución del sureste y suroeste (Fig. 13). Durante el muestreo de agosto de 1995, se observaron manchas de fosfoyeso en la superficie del mar desplazándose hacia el noroeste desde el punto donde se encontraba la ruptura del yesoducto (estación 18), lo que pudo influir en la alta concentración en las estaciones al suroeste de la fractura.

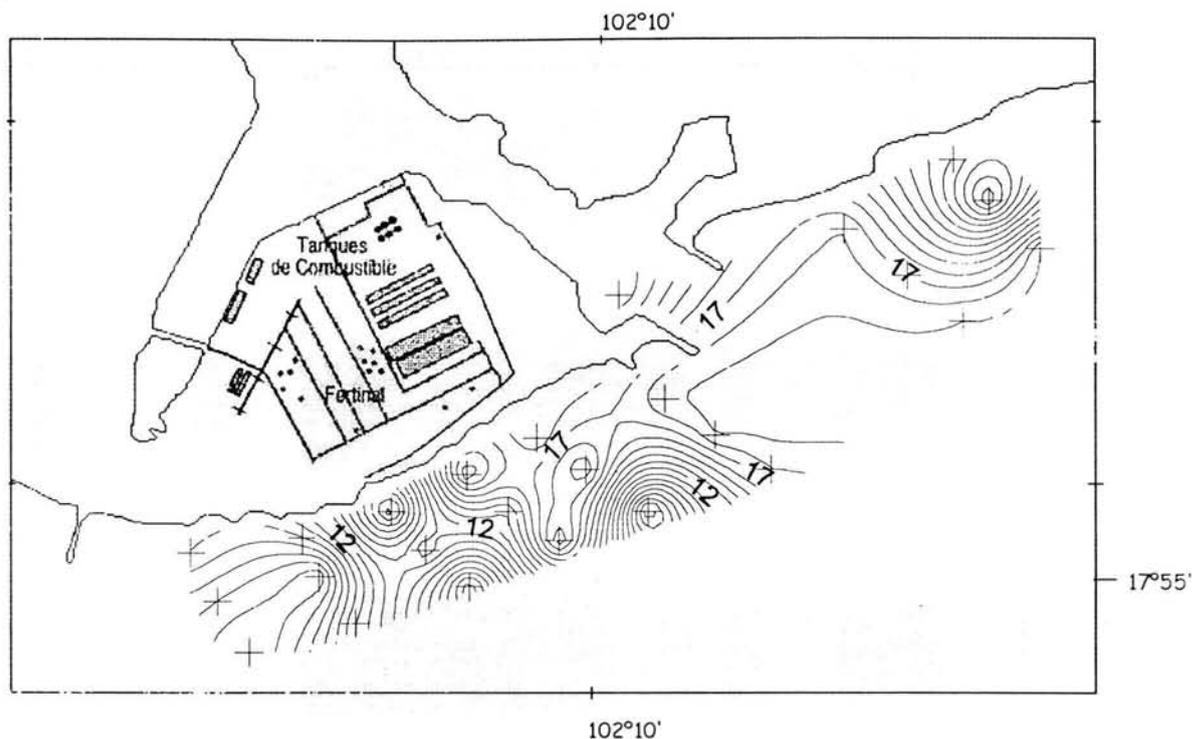


Fig. 11. Distribución horizontal del contenido de ortofosfatos en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. (Julio de 1994).

Los contenidos altos se asocian con las descargas de fertilizantes, detergentes, heces fecales y otros materiales que son transportados a los sistemas acuáticos, directamente o a través de las descargas industriales o del drenaje continental y se considera entre los principales agentes de contaminación (Ortiz, 2001).

El intervalo de ortofosfatos en aguas costeras del Pacífico es de 0.2 a 1.5 μM (De la Lanza-Espino y Hernández - Pulido, 1990). El 55% de los puntos estudiados estuvieron arriba de este intervalo. En 1980 el contenido promedio de ortofosfatos fue de 1.12 μM y en 1990 de 20.99 μM (Romero *et al*, 1980; FERTIMEX, 1990).

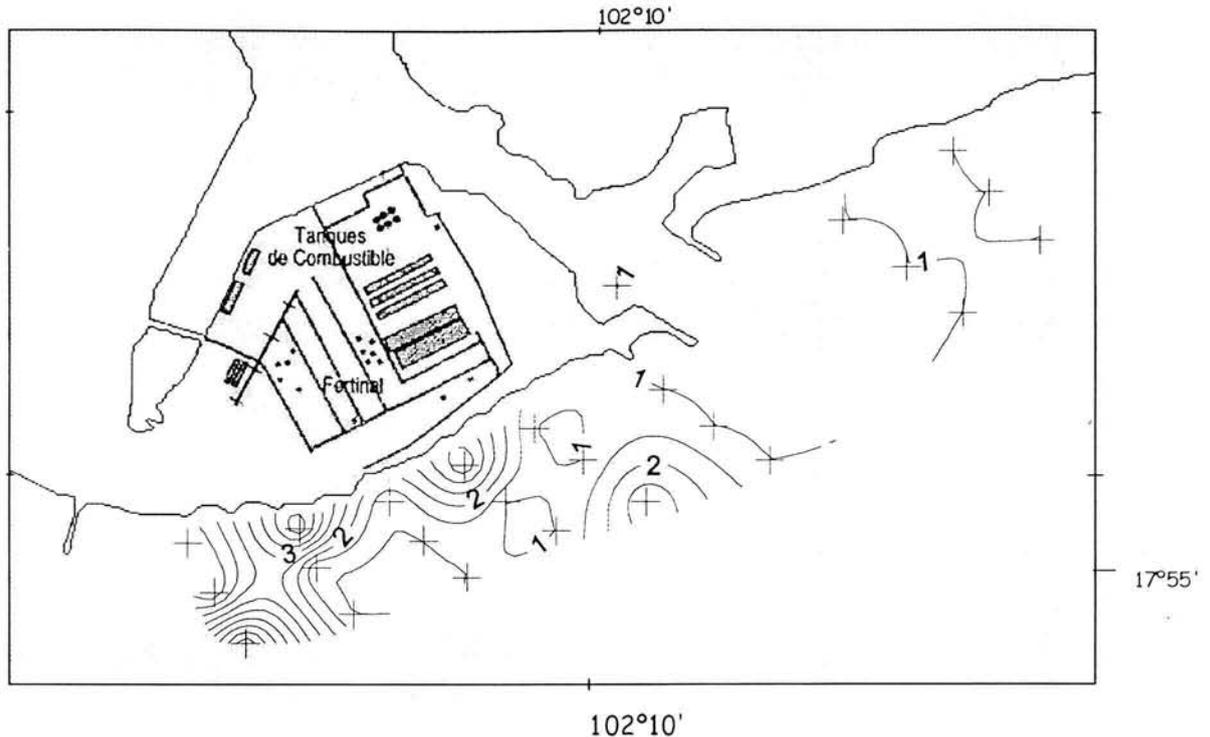


Fig. 12. Distribución horizontal del contenido de ortofosfatos en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich (Febrero de 1995).

Estudios realizados en otras zonas, indican contenidos de ortofosfatos en Puerto Morelos en el orden de 0.1 a 1.5 μM (Secretaría de Marina, 1980), frente al litoral de Tamaulipas 0.1 a 0.3 μM (Moulin, 1980), en Mazatlán 0.76 μM promedio anual (Alonso - Rodríguez *et al.*, 2000), contenidos inferiores a los observados en el presente trabajo. Datos más recientes del área de estudio señalaron en febrero de 2000 un nivel máximo de 6.5 μM frente a la desembocadura del Brazo Melchor Ocampo del Río Balsas y en agosto del mismo año de 12 μM en la superficie (CNA - IB, 2000), también fuera del intervalo para el Pacífico Mexicano. En otras zonas del mundo con problemas de contaminación, como en la Bahía de Izmir en Turquía, se han registrado niveles promedio anuales de 0.28 a 6.94 μM (Bizel y Uslu, 2000). Los valores promedio informados estuvieron por debajo de los que fueron registrados tanto en julio de 1994 como en agosto de 1995 y mayo de 1990. Esto indica claramente que la concentración de ortofosfatos en el área de estudio, está influenciada por la descarga de fosfoyeso, aguas residuales de FERTINAL y las descargas domésticas vertidas en el Río Balsas.

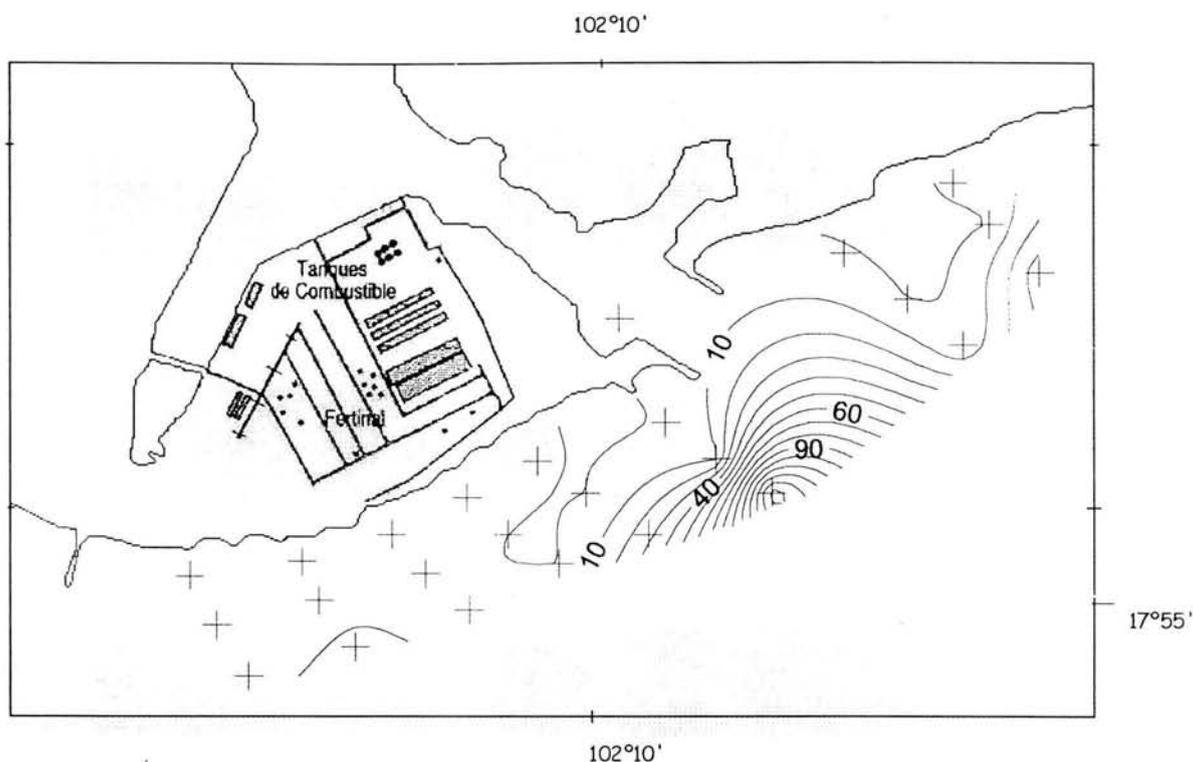


Fig. 13. Distribución horizontal del contenido de ortofosfatos en aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. (Agosto 1995).

Silicatos:

Los silicatos presentaron un promedio de $1.4 \mu\text{M}$ en julio de 1994, $1.3 \mu\text{M}$ en febrero de 1995, $3.7 \mu\text{M}$ en agosto de 1995 y de $1.18 \mu\text{M}$ en julio de 1996. Al igual que para los ortofosfatos, los silicatos señalaron la mayor concentración en agosto de 1995 (Tablas 1 a 4) (Fig. 14). Como se observa en la figura 14, se registró una distribución homogénea en el área de estudio con excepción de la estación 25 (localizada en el Río Balsas), que presentó la mayor concentración durante el estudio.

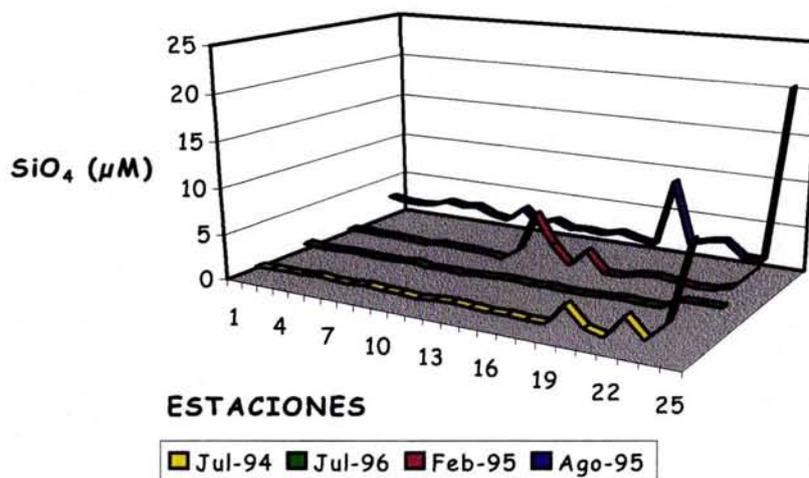


Fig. 14. Contenido de silicatos en aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Es importante considerar que la estación 25 se ubica dentro del río, con un aporte directo de agua dulce, además, se situó en la descarga de las aguas residuales de la planta, con 3.16% SiO_2 , lo que indudablemente influye en la mayor concentración de silicatos en esta estación. La concentración de silicatos en el Pacífico Tropical Mexicano varía en el ámbito superficial entre 2 y 10 μM (De la Lanza - Espino y Hernández - Pulido, 1990). Todos los datos que fueron obtenidos durante el presente estudio, se encontraron por debajo y dentro del intervalo registrado por los autores antes mencionados, excepto los del río Balsas para julio de 1994 con 11.03 μM y agosto de 1995 con 20.77 μM , lo cual indica que la descarga de FERTINAL influye escasamente en la concentración de silicatos en el ambiente. Las anomalías detectadas pueden atribuirse además de aporte del agua residual a un efecto de aportación terrígena o por alguna otra causa independiente de la descarga de fosfoyeso.

pH:

El pH presentó una distribución homogénea en los muestreos que fueron hechos en febrero y agosto de 1995 y julio de 1996, los valores promedio fueron de 7.9, 8.9 y 7.4 respectivamente (Tablas 1 a 4) (Fig. 15). Sin embargo, para julio de 1994 el pH señaló niveles bajos con un promedio de 6.0. Las estaciones 1 a 8 (localizadas a una distancia entre 1.5 y 2 km al suroeste de la desembocadura del Río Balsas) presentaron un valor de pH entre 1.6 y 5.3

unidades. Estas estaciones fueron ubicadas frente a la dársena suroeste del puerto de Lázaro Cárdenas donde SICARTSA vierte parte de sus desechos y aguas residuales y donde se acumula gran cantidad de materia orgánica (FERTIMEX, 1990), lo que afectó el valor de pH. Otra estación en la que se observó un pH bajo fue la 18 con 2.7 unidades (estación donde se encontraba la fractura del yesoducto), es importante resaltar que FERTIMEX (1990) registró en la ruptura un nivel de pH promedio de 2.75.

Considerando que el valor promedio del pH en aguas marinas varía de 7.5 a 8.4 (Sverdrup *et al.*, 1970) y que estudios previos realizados en el área de estudio informan niveles promedio de 8.2 (Romero *et al.*, 1980), 7.19 (FERTIMEX, 1990) y 7.53 (SISSA, 1994); se observa que los promedios registrados en el presente estudio para los muestreos de febrero y agosto de 1995 y julio de 1996 se encontraron dentro de los niveles normales; que los de julio de 1994 en la estación 18 fueron influenciados por la industria y que las estaciones frente a la dársena suroeste se vieron afectados por lo vertido en dicha dársena, por lo que, el efecto de la descarga de fosfoyeso sobre el cuerpo receptor es puntual y se restringe a una pequeña zona. Debe continuarse con el monitoreo de este parámetro a escala local, ya que la acidificación del agua puede inhibir la actividad reproductiva, e influir en la masa corporal y en la iniciación de la diferenciación sexual en algunos peces (Zelennikov *et al.*, 1999).

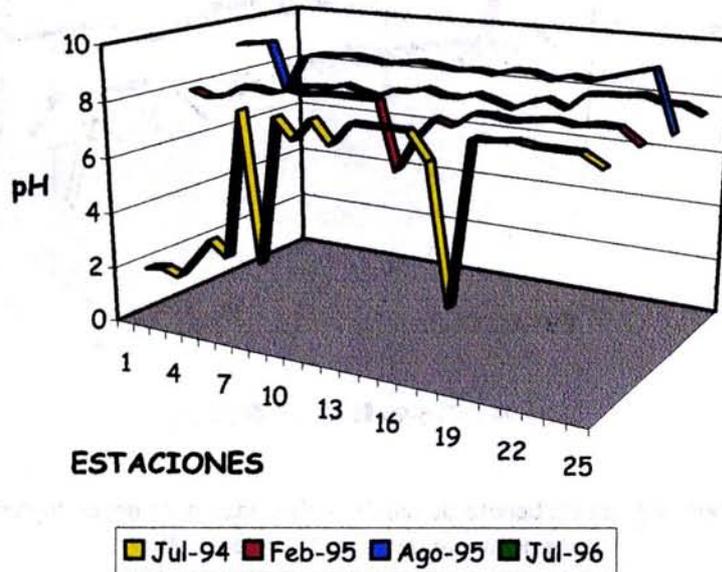


Fig. 15. pH en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Carbonato de calcio:

La concentración de carbonato de calcio presentó un comportamiento homogéneo en el área marina frente al Puerto de Lázaro Cárdenas. Sin embargo, como se observa en la figura 16 (Tablas 1 a 4), las concentraciones más altas se registraron en agosto de 1995 con un promedio de 249.8 mg/l en los demás muestreos las concentraciones promedio fueron 129, 118.9 y 126.1 mg/l para julio de 1994, febrero de 1995 y julio de 1996 respectivamente. La descarga de fosfoyeso para este parámetro, aparentemente no tiene repercusión en el ambiente. En estudios previos realizados en la zona de estudio, se encontraron contenidos de carbonato de calcio de 400 mg/l (CONDUX, 1984) contenido superior al encontrado en el presente estudio. En la evaluación realizada por FERTIMEX (1990), observaron que con respecto a la depositación y precipitación de carbonato de calcio, era puntual cerca al emisor y en la zona del estuario, lo que podría tener relación directa con la descarga de FERTINAL.

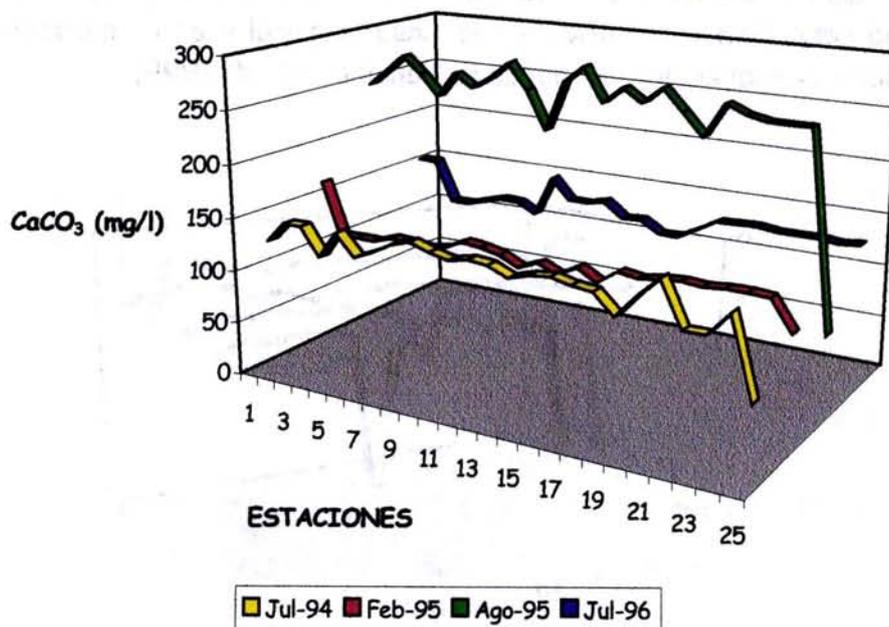


Fig. 16. Contenido de carbonato de calcio registrado en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Demanda Química de Oxígeno (DQO):

La DQO en julio de 1994 presentó una variación visible en cada punto de muestreo, el promedio fue de 8.5 mg/l, con un máximo de 36.6 mg/l en la estación 3 (situada a 2.6 km al suroeste de la desembocadura del Balsas). La concentración mínima para este muestreo fue de cero en la estación 4 (localizada a 2 km al suroeste de la desembocadura). El muestreo de febrero de 1995, mostró un nivel promedio de 6.7 mg/l, con el contenido más alto (14.72 mg/l) en la estación 2 (ubicada a 2.4 km al suroeste de la desembocadura); como se observa en la figura 17, en agosto de 1995 las concentraciones fueron las más bajas de todo el estudio. En julio de 1996 se observó una distribución homogénea, el valor promedio fue de 9.12 mg/l. SISSA (1994) informó para el área de estudio una DQO de 85 mg/l en la descarga del yesoducto, mientras que en el río fue de 110.5 mg/l en la época de estiaje. Las DQO que se determinaron en este estudio estuvieron por debajo de las observadas por el autor antes mencionado, lo cual indica que la materia orgánica que se vierte por la fractura del yesoducto y la que aporta el río es baja. En estudios realizados en 1995 (CIB- NW, 1995), en la Bahía de Petacalco, el contenido de DQO fue de 73.4 y 76.1 mg/l, valores similares a los del presente análisis. En trabajos más recientes en la bahía antes mencionada y en el Río Balsas, se encontraron contenidos entre 0.7 a 2.11 mg/l (febrero 1999), 1.76 a 3.87 (noviembre 1999), 0.88 a 3.54 mg/l (junio 2000), 0.70 a 4.22 mg/l (agosto 2000), 2.11 a 5.98 mg/l (octubre 2000), 1.06 a 3.17 (diciembre 2000) y 1.06 a 2.82 (febrero 2001) (Botello, 2001). Los contenidos registrados en el presente estudio fueron en promedio más altos que los reportados por el autor antes mencionado.

En las estaciones localizadas frente a la dársena suroeste del puerto, en febrero de 1995 se presentó un alto contenido de DQO en las estaciones 1, 2 y 3, lo cual se repitió en julio de 1996 en las estaciones 1 a 9.

Si se considera que la DQO cuantifica directamente la materia orgánica (químicamente oxidable), las concentraciones encontradas en el presente estudio se explican por el aporte antropogénico río arriba que se acumula en las dársenas del puerto y que eleva el contenido de DQO en el mismo.

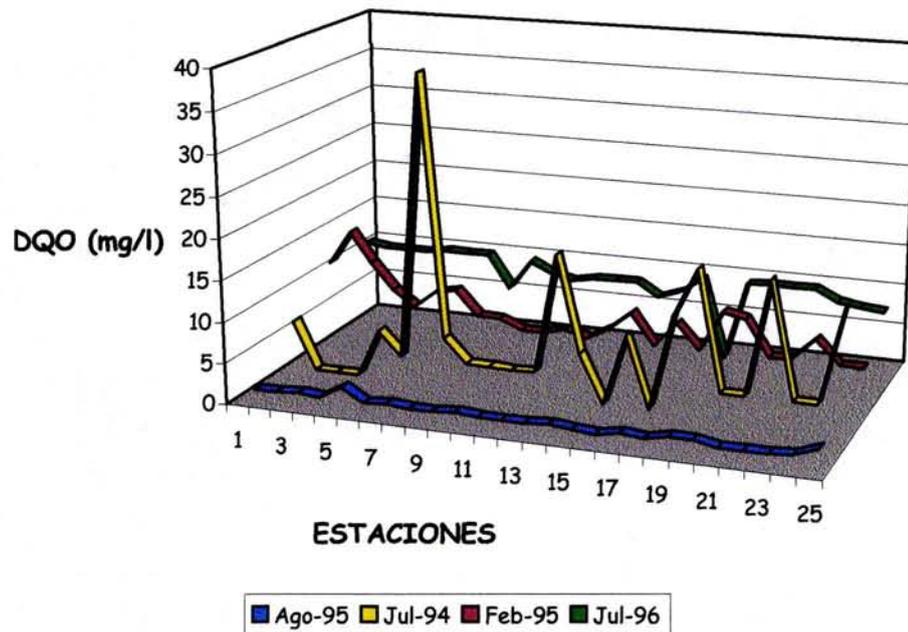


Fig. 17. Contenido de DQO en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):

Como se observa en la figura 18, en febrero de 1995 la concentración promedio fue de 0.7 mg/l. Sin embargo, los niveles más altos fueron los de agosto de 1995 con 4.6 mg/l promedio, las estaciones que presentaron las mayores concentraciones fueron de la 4 a la 6 con 6.62, 5.52 y 6.62 mg/l (localizadas a 2.25 km a la derecha de la desembocadura del Balsas) y las estaciones 19 a 21 con 7.7, 7.5 y 6.6 mg/l (situadas a 1 km a la izquierda de la desembocadura).

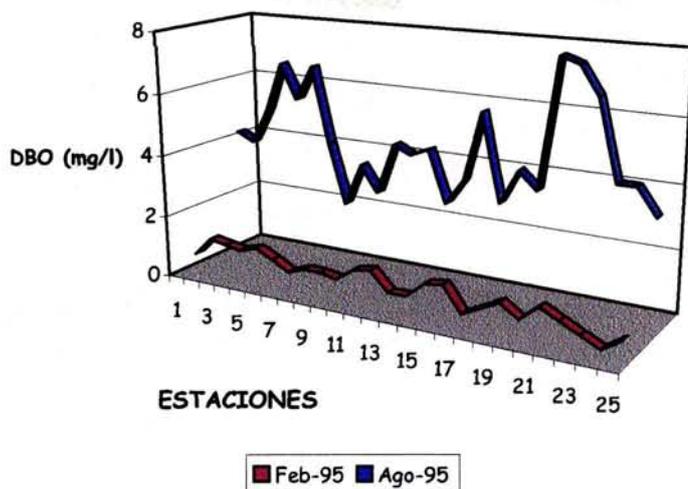


Fig. 18. Contenido de DBO en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Estudios previos señalaron una DBO de 5 mg/l en la descarga del fosfoyeso y de 1.5 mg/l en el río (SISSA, 1994), comparando con los resultados del presente estudio, en agosto de 1995, la DBO en la descarga fue de 4.15 mg/l y en el río de 3.31 mg/l. Los valores fueron similares en la descarga y un poco más altos en el río, influenciados probablemente por las descargas de aguas residuales de tipo doméstico vertidas río arriba. En estudios realizados en la Bahía de Petacalco se observó un contenido de DBO de 1.3 y 1.1 mg/l (CIB-NW, 1995). La DBO registrada en agosto de 1995, estuvieron por arriba de las registradas en la Bahía de Petacalco, que frente a la desembocadura del Balsas existe mayor cantidad de materia orgánica biodegradable. Comparando con la NOM-001-ECOL-1996, los contenidos en aguas costeras y estuarios son de 75 mg/l promedio mensual y de 150 mg/l promedio diario, lo que está muy por arriba de lo encontrado en el área de estudio.

Sólidos Sedimentables Totales:

En julio de 1994, la media fue de 0.03 mg/l, en febrero de 1995 de 36.64 mg/l y en julio de 1996 de 0.03 mg/l. Los sólidos sedimentables informados para esta zona fue de cero (FERTIMEX, 1990). La NOM-001-ECOL-1996 señala límites máximos permisibles de 1 mg/l en promedio mensual y de 2 mg/l en promedio diario. Límite rebasado en febrero de 1995, cuando los sólidos sedimentables fueron altos, causado probablemente por la falta de dilución y dispersión de los mismos debido al poco aporte fluvial y pluvial de esa época del

año, que además puede estar influenciado por las descargas industriales y domésticas de la zona.

Metales totales:

Zinc: La mayor concentración de zinc en las aguas, se registró en julio de 1994 en la estación 5 con $1,390 \mu\text{g/l}$ (situada al suroeste de la desembocadura del Balsas). El promedio fue de $200.4 \mu\text{g/l}$. Como se observa en la figura 19, se presentó un núcleo de mayor concentración en esa estación y una difusión en forma circular. Las estaciones que señalaron un nivel mayor fueron de la 1 a la 6, localizadas a una distancia entre 2.2 y 2.6 km a la derecha de la desembocadura del río, pero que a su vez fueron las estaciones más cercanas a la dársena suroeste del puerto. Las estaciones más cercanas a la desembocadura, presentaron una concentración mayor cerca de la costa, con una disminución hacia mar abierto.

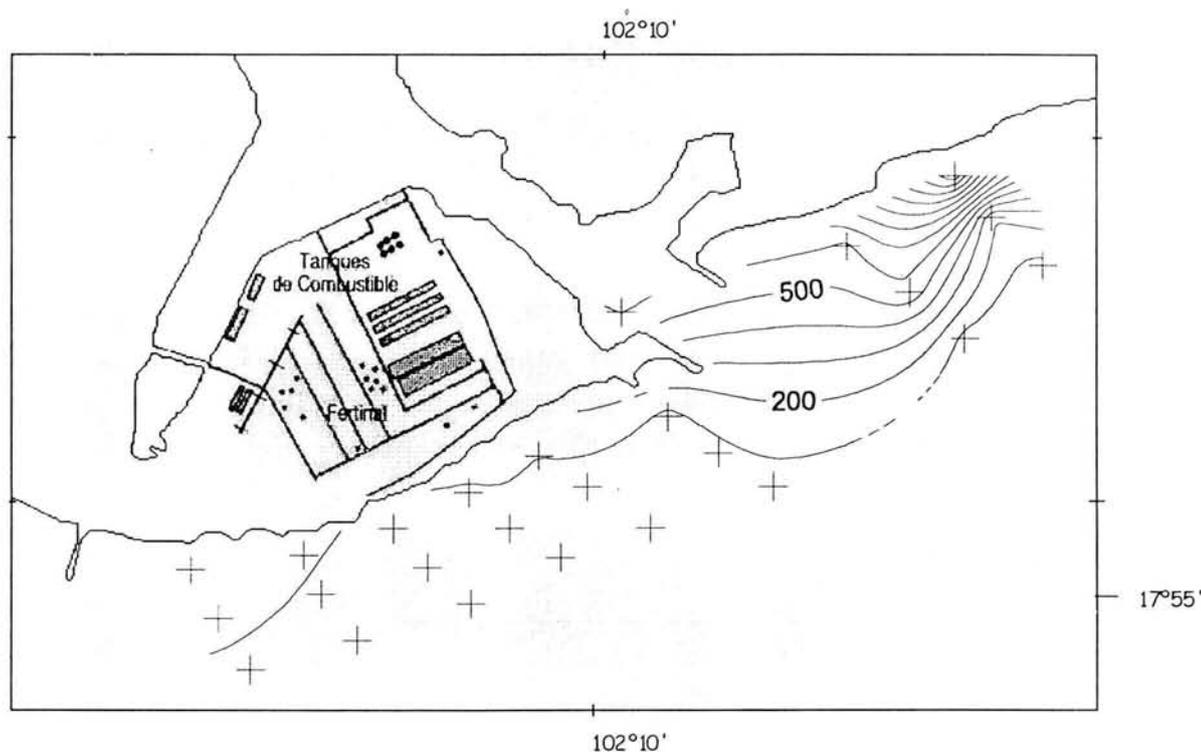


Fig. 19. Distribución horizontal de la concentración zinc en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. (Julio 1994).

En febrero de 1995, las concentraciones fueron más bajas con un promedio de $70.8 \mu\text{g/l}$. Como se contempla en la figura 20, la concentración más alta se observó en la estación 15 (localizada a 1.2 km al suroeste del río). La distribución del zinc fue heterogénea en esta evaluación (Fig. 21), con concentraciones que fluctuaron entre los 30 y $110 \mu\text{g/l}$ en el área suroeste de la desembocadura, mientras que en la zona ubicada a la izquierda de la desembocadura, la concentración más alta fue de $70 \mu\text{g/l}$ en la estación 20 con una disminución hacia el este hasta un nivel de $30 \mu\text{g/l}$ en las estaciones 22 a 24 (ubicadas a 1.3 km al sureste de la desembocadura).

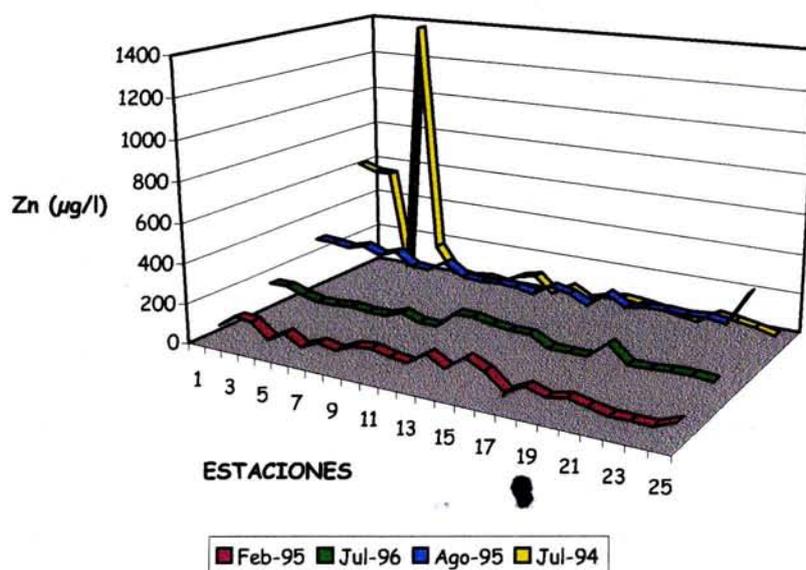


Fig. 20. Contenido de zinc en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

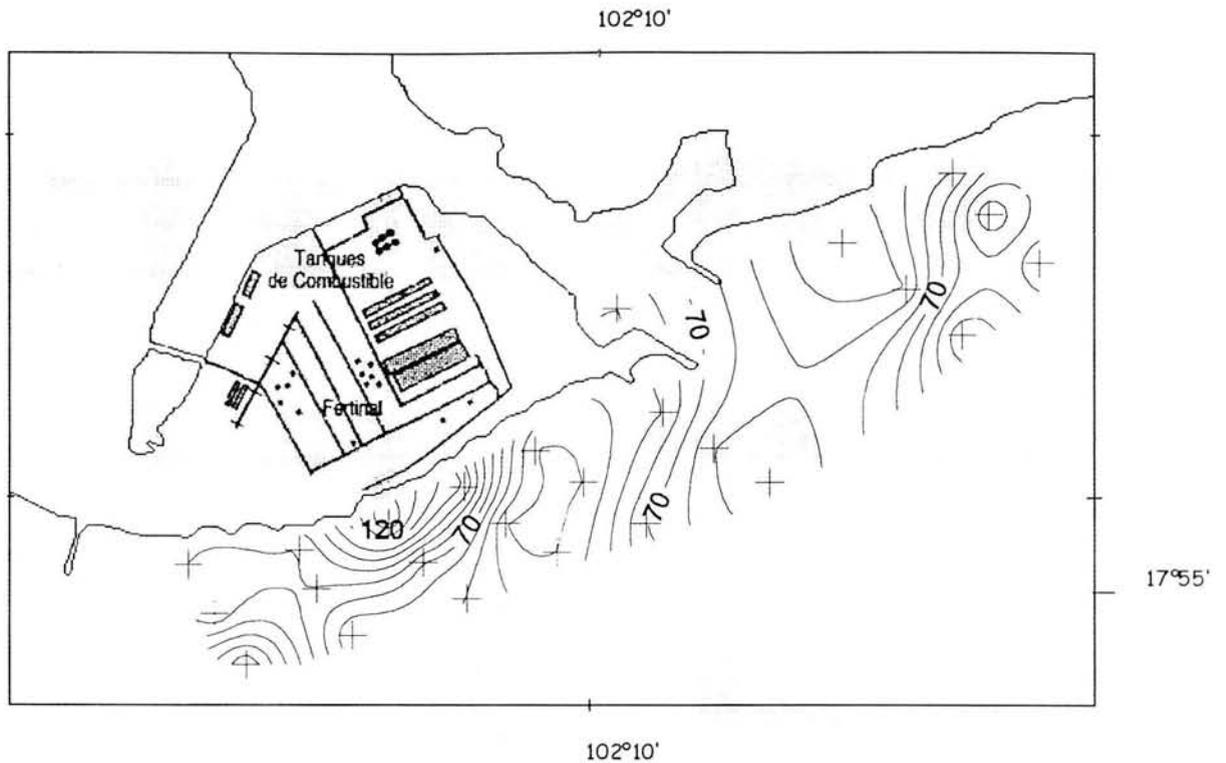


Fig. 21. Distribución horizontal del contenido de zinc en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. (Febrero 1995).

En agosto de 1995, se determinó un promedio de $242.7 \mu\text{g/l}$ de zinc. El contenido más alto fue en la estación 25 (río) con $380 \mu\text{g/l}$ (Tabla 3) (Figs. 20 y 22), mientras que en julio de 1996 (Tabla 4) se observó un aumento de zinc hacia la derecha de la desembocadura hasta las estaciones 12 y 13 donde se alcanzó el máximo con $180 \mu\text{g/l}$ con una difusión hacia el noroeste (Fig. 23).

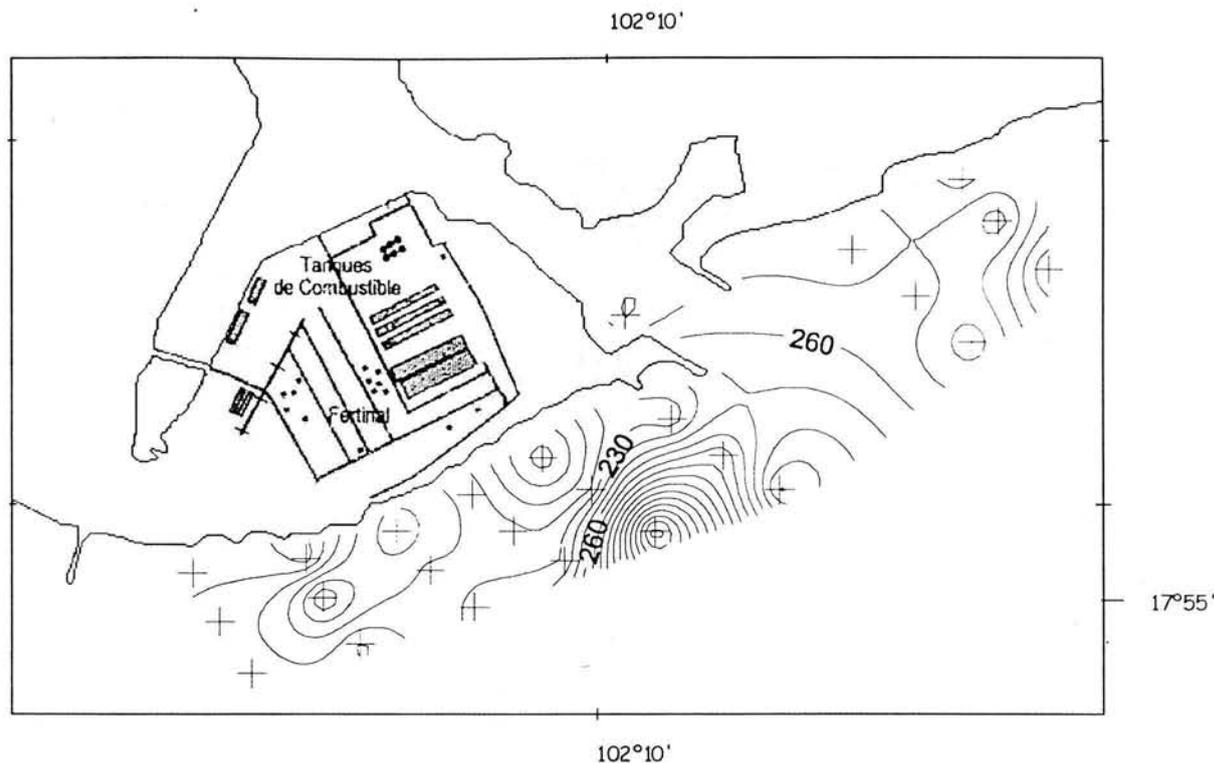


Fig. 22. Distribución horizontal del contenido de zinc en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. (Agosto 1995)

Contenidos de zinc en estudios previos de la zona, registraron $180 \mu\text{g/l}$ en la descarga (FERTIMEX, 1990) y contenidos promedios de $24.54 \mu\text{g/l}$ (SISSA, 1994). Los niveles obtenidos en el presente estudio, sobrepasan las cantidades antes mencionadas frente a la dársena suroeste en julio de 1994 y en toda el área en agosto de 1995. Ellwood y van den Berg (2000) encontraron concentraciones en aguas costeras del Atlántico Norte de 0.003 a $0.004 \mu\text{g/l}$; Campanella *et al.* (2001) registraron en la costa de Sicilia, Italia contenidos promedios de 3.92 a $10.01 \mu\text{g/l}$. Comparando con los autores antes mencionados, los contenidos en julio de 1994 y agosto de 1995 fueron superiores a los valores informados, lo que podría indicar que el tipo de roca que se utiliza en la fabricación del ácido fosfórico influye directamente en el contenido de zinc del área marina frente al Puerto de Lázaro Cárdenas aunado a las aguas residuales que se vierten en otros puntos del Río Balsas y en la misma zona industrial del puerto. A diferencia los contenidos registrados en Restronguet Creek, fueron entre 100 y $2,000 \mu\text{g/l}$ y en la Bahía de Dulas fue de 170 a $5,650 \mu\text{g/l}$ ambos registros en el Reino Unido (Rainbow *et al.*, 2000), aunque son más altos que en las aguas costeras del Puerto de Lázaro Cárdenas, si existen contenidos similares.

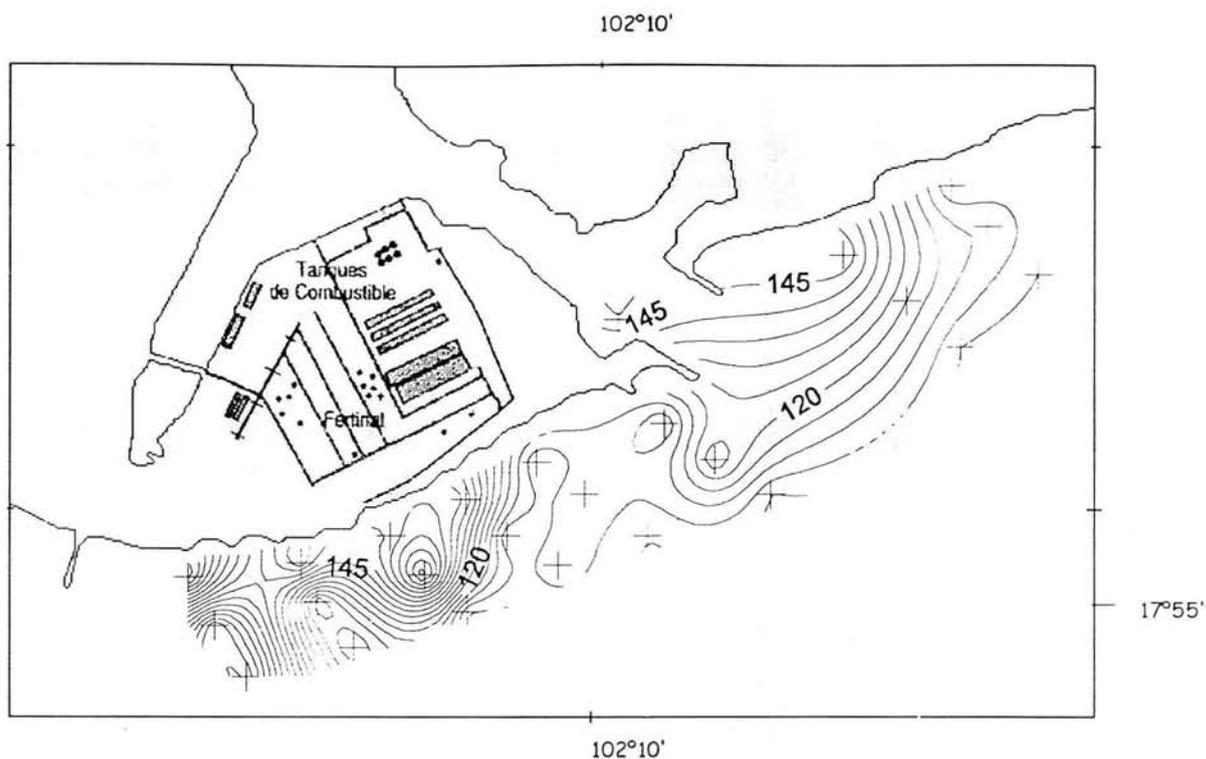


Fig. 23. Distribución horizontal del contenido de zinc en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. (Julio 1996).

Comparando con la normatividad, el promedio diario de zinc en aguas residuales que se vierten a cuerpos receptores es de $20,000 \mu\text{g/l}$ y el promedio mensual es de $10,000 \mu\text{g/l}$ (SEMARNAP, 1996) contenidos por arriba de los informados en el presente estudio. Sin embargo, aun cuando el zinc es un elemento esencial, también se han visto efectos negativos en los cascarones de huevos de tortugas en costas de Michoacán (Vázquez *et. al.* en prensa).

Plomo: En julio de 1994, la concentración promedio fue de $55.9 \mu\text{g/l}$ con una distribución heterogénea que fluctuó entre 13 y $147 \mu\text{g/l}$, con el máximo en la estación 25 (localizada en el río) (Tabla 1) (Fig. 24). A diferencia del zinc, en febrero de 1995 los niveles de plomo fueron los más altos con un promedio de $202.8 \mu\text{g/l}$, nivel que fue superior a los máximos de los muestreos de julio de 1994 ($147.2 \mu\text{g/l}$), agosto de 1995 ($84 \mu\text{g/l}$) y julio de 1996 ($116 \mu\text{g/l}$) (Fig. 24). En estudios previos se registraron concentraciones de plomo de $1.14 \mu\text{g/l}$ (FERTIMEX, 1990) y $36.77 \mu\text{g/l}$ (SISSA, 1994). Los niveles del presente estudio estuvieron por debajo de la cantidad de plomo informada en 1994, pero por arriba de los de 1990. En la costa occidental de Baja California se informó una concentración de plomo entre 0.5 a $50 \mu\text{g/l}$ (González - Macías, 1991), el

83% de los puntos muestreados en el presente estudio estuvieron por arriba de la cantidad observadas en la costa occidental de Baja California.

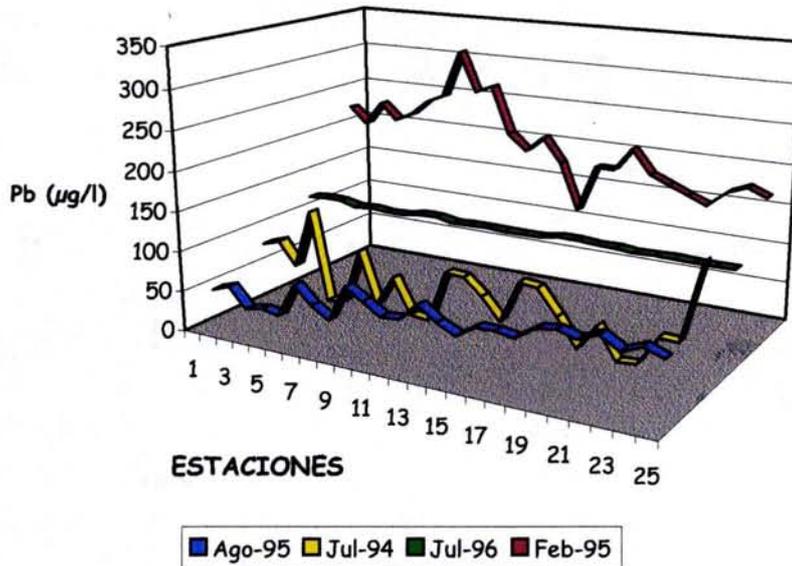


Fig. 24. Contenido de plomo en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

El plomo total en ambientes costeros del Atlántico Norte es de $0.036 \mu\text{g/l}$, en el Pacífico Norte de 0.011 a $0.014 \mu\text{g/l}$ y en el Pacífico Sur de $0.0025 \mu\text{g/l}$, en el Mar Rojo, se han registrado niveles de 80 a $560 \mu\text{g/l}$ (Fergusson, 1990). Los contenidos de plomo en este trabajo fueron superiores a los informados para ambientes costeros, mientras que los del Mar Rojo fueron parecidos. Los contenidos encontrados en el área de Lázaro Cárdenas pueden relacionarse tanto con el tipo de roca utilizada que tiene un contenido 5 a 9 mg/k (The Association of Florida Phosphate Chemist, 1979), así como con el aporte de otras descargas de aguas residuales de tipo industrial (acerera SICARTSA) y doméstico que estén influyendo en el contenido de plomo en la zona.

Comparando con la normatividad vigente, el promedio de plomo diario que puede vertirse es de $400 \mu\text{g/l}$ y el promedio mensual de $200 \mu\text{g/l}$ (SEMARNAP, 1996), por lo cual puede decirse que las cantidades encontradas están dentro de la normatividad.

Cadmio: La distribución de cadmio durante el estudio fue heterogénea en espacio y tiempo. Los promedios observados fueron de $51 \mu\text{g/l}$ en julio de 1994,

61 $\mu\text{g/l}$ en febrero de 1995, 2.5 $\mu\text{g/l}$ en agosto de 1995 y 99.5 $\mu\text{g/l}$ en julio de 1996 (Tabla 1 a 4) (Fig. 25).

Al igual que el plomo, los niveles de cadmio de febrero fueron más altos que los niveles de agosto de 1995 y posteriormente aumentaron en julio de 1996 para ambos metales.

En 1990 se registró un nivel medio de 18.31 $\mu\text{g/l}$ (FERTIMEX, 1990) y en 1993 un contenido promedio de 0.74 $\mu\text{g/l}$ (SISSA, 1994), como se observa las presentes concentraciones promedio se encontraron por arriba de los registrados en muestreos previos. En el sistema de la Laguna de Términos, se han registrado contenidos de cadmio entre 0.08 a 0.71 $\mu\text{g/l}$ (Páez - Osuna *et al.*, 1987), contenidos menores a los registrados en este estudio. En Tabasco se registró un nivel máximo de 13 $\mu\text{g/l}$ (Páez - Osuna, 1996). Vázquez *et al.* (1999), informan para la zona estuarina de la Laguna de Términos contenido promedio de 0.034 mg/l. En el Puerto de Mazatlán, se observó un contenido promedio de la fracción disuelta < 0.01 $\mu\text{g/l}$ y en la fracción particulada 0.09 $\mu\text{g/l}$ (Osuna - López *et al.*, 1989). Se han notificado niveles de cadmio superficiales de 0.012 a 1.94 $\mu\text{g/l}$ (Fergusson, 1990). Como se observa, los contenidos informados en otros estudios se encontraron por debajo de los observados en este trabajo. Páez - Osuna (1996) explica que en ambientes costeros las principales fuentes de cadmio son el lavado de los suelos agrícolas, los desechos municipales y los lodos de tratamiento.

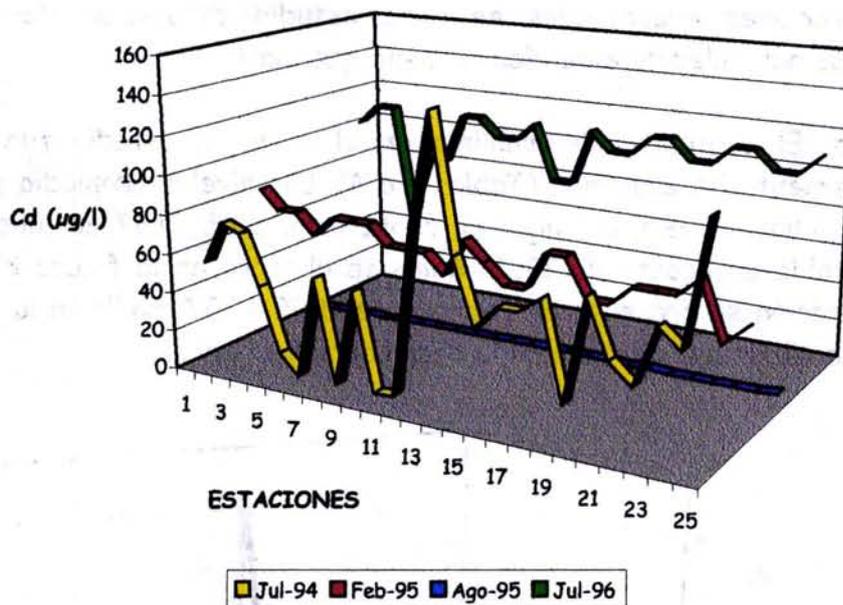


Fig. 25. Contenido de cadmio en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Las rocas fosfóricas comerciales utilizadas para la fabricación de ácido fosfórico presentan cantidades de cadmio entre 5 y 53 mg/k (The Association of Florida Phosphate Chemist, 1979). La cantidad de este elemento traza en el agua residual y en el fosfoyeso puede variar de acuerdo a la roca y puede estar influenciando la concentración de cadmio en el ambiente aunado a que el cadmio es elevado en las aguas superficiales en las que ha ocurrido una surgencia, asimismo se manifiesta una relación entre el cadmio y los nutrientes, es decir, que cuando en las aguas se presenta un incremento de nutrientes concomitantemente existe el aumento de cadmio y viceversa, esta relación es más marcada para los ortofosfatos (Fergusson, 1990). Aún cuando la normatividad señala que pueden descargarse 200 µg/l promedio diario a zonas costeras, el contenido de cadmio del presente estudio fue superior al registrado en forma natural para zonas costeras.

Cromo: En julio de 1994 y de 1996, el contenido de cromo fue aproximadamente de 0.01 µg/l para todas las estaciones, mientras que para agosto de 1995 fue indetectable. Los contenidos informados en el presente estudio fueron menores a los registrados en 1993 con una concentración promedio de 25.02 µg/l (SISSA, 1994). En aguas marinas los contenidos informados son de 0.6 µg/l (Riley y Chester, 1989) y para aguas estuarinas,

Vázquez *et al.* (1999) informaron contenidos de 3 a 70 $\mu\text{g/l}$, por lo que las concentraciones encontradas en este estudio estuvieron dentro de los intervalos naturales de este elemento en agua marina.

Aluminio: El contenido de aluminio en el área de estudio fue espacial y temporalmente heterogéneo (Tablas 1 a 4). Los niveles promedio fueron de 1 mg/l en julio de 1994, 0.7 mg/l en febrero de 1995, 0.37 en julio de 1996 e indetectable en agosto de 1995. Como se observa en la figura 27, la mayor concentración se presentó en febrero de 1995 (4.37 mg/l) en la estación 14 situada a 1.1 km a la derecha de la desembocadura del río.

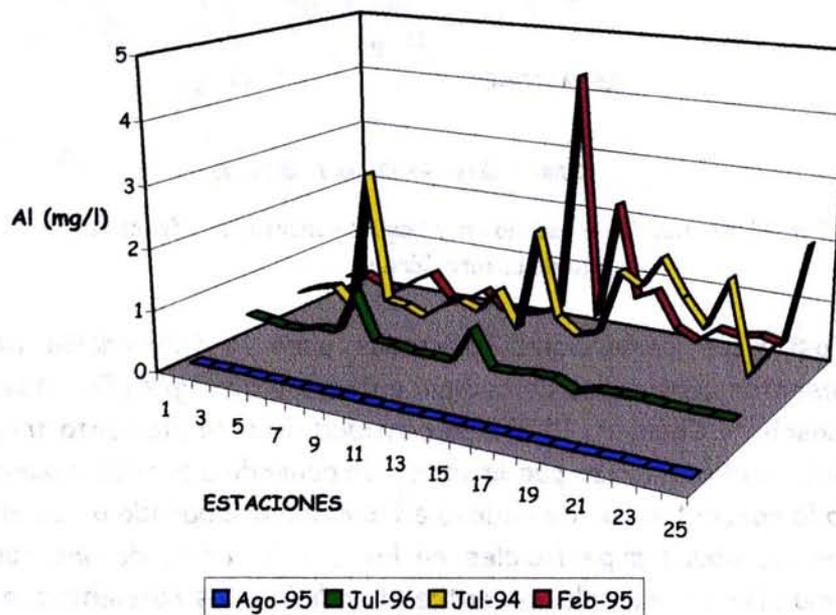


Fig. 27. Contenido de aluminio en las aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

En 1993 se observó una concentración de 0.112 mg/l (SISSA, 1994), contenidos menores a los obtenidos en 1994, 1995 y 1996. Sin embargo, el contenido informado en el presente trabajo es menor que el registrado para aguas oceánicas de 5 $\mu\text{g/l}$ (Riley y Chester, 1989). El contenido de aluminio en el área de estudio no puede relacionarse directamente a FERTINAL y puede deberse a otras aportaciones río arriba o de la misma zona industrial del puerto.

Mercurio: En febrero de 1995 se analizó el mercurio el cual fue indetectable; en 1990, el contenido de mercurio fue de 0.18 $\mu\text{g/l}$ (FERTIMEX, 1990) y en 1993 fue de 1.32 $\mu\text{g/l}$ (SISSA, 1994). En la costa occidental de Baja California se informó de un contenido de mercurio de 0.2 a 0.5 $\mu\text{g/l}$ (González - Macías, 1991) y en aguas oceánicas se ha registrado 0.05 $\mu\text{g/l}$ (Riley y Chester, 1989). Comparado, los valores de este estudio fueron menores a los registrados por otros autores. La normatividad indica un contenido promedio mensual en las descargas de 10 $\mu\text{g/l}$ y un promedio diario de 20 $\mu\text{g/l}$ (SEMARNAP, 1996). Lo que indica que las aguas del Puerto de Lázaro Cárdenas se encuentran dentro de la normatividad y en valores naturales.

Cobre: En febrero de 1995 se registró un promedio de 0.033 $\mu\text{g/l}$, con un máximo de 0.06 $\mu\text{g/l}$ en la estación 1 (situada a 2.4 km al suroeste de la desembocadura) y un mínimo de 0.02 $\mu\text{g/l}$ en las estaciones 8, 10, 11, 14 y 25 (las cuatro primeras se encontraban entre 2.3 km y 875 m al suroeste de la desembocadura del río y la última se localiza a 375 m en la margen derecha del Balsas). Al igual que el cobre, el cadmio presentó un mínimo en la estación 25 y con el aluminio en la estación 11 durante febrero de 1995 y el máximo en la estación 1 con el cadmio.

En 1993 la concentración de cobre fue de 17.73 $\mu\text{g/l}$ (SISSA, 1994). En la costa occidental de Baja California el valor promedio ha sido registrado de 2.6 $\mu\text{g/l}$ (González - Macías, 1993), registros de cobre en Hawaii señalan contenidos de 90 a 200 $\mu\text{g/l}$ (Esslemont, 2000); en Sicilia Italia de 1.15 a 3.11 $\mu\text{g/l}$ (Campanella *et al.*, 2001) y en la Laguna de Términos de 22 $\mu\text{g/l}$ (Vázquez *et al.*, 1999). Los contenidos registrados en el presente estudio estuvieron por debajo de los reportados por estos autores.

En general puede considerarse que la concentración de los metales traza en el área de estudio está influenciada por arrastre fluvial y por el aporte de otras fuentes industriales circundantes a FERTINAL y la acerera SICARTSA, aunado al contenido de metales en la roca fosfórica, en donde se observan cantidades de zinc, plomo, cadmio y óxidos de fierro que llevan a suponer que parte de los metales encontrados en la columna de agua se debe al aporte de las descargas industriales.

Flúor:

La distribución de flúor durante el periodo de estudio fue homogénea, presentando una concentración promedio de 1.1 mg/l en julio de 1994, agosto de 1995 y julio de 1996. En febrero de 1995, la concentración promedio fue de

2.4 mg/l con un máximo de 2.8 mg/l en la estación 13 (ubicada a 825 m al suroeste de la desembocadura del Río Balsas) (Tablas 1 a 4) (Fig. 28).

En los estudios previos la concentración promedio fue de 1.35 mg/l en 1978 y 1979 (Romero *et. al.*, 1980) y de 4.88 mg/l en 1990 (FERTIMEX, 1990), estos valores son similares a los de este trabajo. En aguas marinas el contenido es de 1.4 mg/l (Riley y Chester, 1989), valor similar al del presente trabajo. La normatividad no regula este parámetro. El contenido detectado no se ve afectado por ninguna descarga.

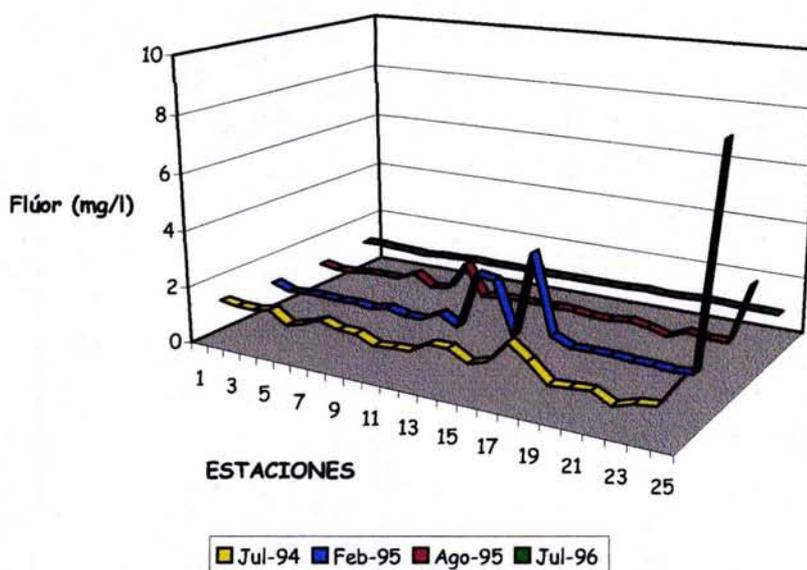


Fig. 28. Contenido de flúor en aguas superficiales frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Relaciones:

Con el objetivo de asociar parámetros y consecuencias, se calcularon las relaciones correspondientes que se explican a continuación ($r^2 \alpha < 0.05$):

Temperatura y salinidad ($r^2 = 0.447$) en julio de 1996, por el alto número de mediciones, esta correlación fue significativa, pero con una pendiente pequeña; sin embargo, una posible explicación ambiental a dicha correlación puede ser por la influencia del agua proveniente de la corriente de Costa Rica que se caracteriza por tener una alta temperatura ($< 25^\circ\text{C}$) y una baja salinidad (< 34 ups) (De la Lanza - Espino, 1994) y por otro lado, a las surgencias observadas

en esta época por Lechuga - Devezé *et al.* (1999) donde emergen aguas de menor temperatura que se mezclan con las de mayor salinidad.

Salinidad y silicatos ($r^2 = 0.992$ y 0.496 en agosto de 1995 y julio de 1996 respectivamente), el mecanismo de remoción del sílice disuelto no está totalmente entendido. Los primeros estudios señalaron que existe una relación inversa entre la salinidad y el contenido de sílice, conceptos que han variado con el tiempo hasta que actualmente se considera que la precisión de tal relación es resultado de las características locales en cuanto a la mezcla de aguas dulces y marinas (De la Lanza - Espino, 1994). Contreras (1983), registró en el estuario del Río Tuxpan, concentraciones máximas de sílice en la época de "nortes" (octubre a noviembre), con niveles de 49.02 a 52.81 mg/l y mínimos en mayo de 0.02 a 0.38 mg/l, este autor señala, que en la época climática denominada "nortes", donde el aporte fluvial es mayor y baja la salinidad, incrementando los silicatos, lo que confirma una relación inversa.

Por otro lado, Lechuga - Deverté *et al.* (1999), en estudios realizados en la desembocadura del Río Balsas, observaron a nivel superficial, que a niveles bajos de salinidad (15 a 30 ups) hay un aumento de sílice ($5 \mu\text{M}$) debido a la influencia del Balsas que provoca una estratificación halina hasta los 7 m de profundidad. Desde la cabecera de los ríos hasta la boca o comunicación marina, se sucede una serie de reacciones fisicoquímicas que tienden a disminuir progresivamente la concentración de los nutrientes dependiendo del cambio gradual de la salinidad, que se relaciona indirectamente con los silicatos, ortofosfatos y sales de nitrógeno, es ese orden de prioridad (salinidad: nitritos $r^2 = 0.942$) (De la Lanza - Espino, 1994).

El oxígeno disuelto se asoció con los ortofosfatos ($r^2 = 0.466$ y $r^2 = 0.567$ en febrero de 1995 y julio de 1996 respectivamente); la relación puede ser resultado del agua de la corriente costera de Costa Rica, cuya característica es presentar bajas concentraciones de oxígeno y rica en fósforo (Lechuga - Devezé *et al.*, 1999). Además hay que considerar que durante el invierno y verano se registran mayores concentraciones de ortofosfatos asimilables por los productores primarios que incrementan el contenido de oxígeno disuelto (De la Lanza - Espino, 1994).

La relación positiva entre ortofosfatos y silicatos ($r^2 = 0.909$) está fundada en que el silicio disuelto presenta un comportamiento similar a los ortofosfatos en

regiones donde ocurre el florecimiento del fitoplancton y particularmente diatomeas, donde baja la concentración de fosfatos al haber un florecimiento importante (Riley y Chester, 1989). Y puede estar relacionado también a la cantidad de silicatos que se aportan por el Río Balsas y la alta cantidad de ortofosfatos que se vierten en esta zona.

Los ortofosfatos también presentaron una relación con el pH ($r^2 = 0.857$ y 0.518 en febrero de 1995 y julio de 1996 respectivamente) lo cual se explica por el nivel de ácido fosfórico y efecto amortiguador del agua de mar.

Además de las relaciones mencionadas anteriormente, los ortofosfatos presentaron una relación con el cadmio ($r^2 = 0.438$); las concentraciones de cadmio son elevadas en las aguas superficiales en las que ha ocurrido una surgencia, asimismo se manifiesta una relación entre el cadmio y los nutrientes, es decir, que cuando en las aguas se presenta un incremento de nutrientes concomitantemente existe el aumento de cadmio y viceversa, esta relación es más marcada para los ortofosfatos (Fergusson, 1990). Además el níquel, el zinc y el cadmio se distribuyen similarmente a aquellos nutrientes primarios como resultado de los requerimientos biológicos y la regeneración de estos metales (Yeats y Campbell, 1983).

Ortofosfatos y flúor ($r^2 = 0.735$ y 0.573 en febrero y agosto de 1995 respectivamente), como se observa independientemente de la época del año en la que se realizó el estudio, se presentó entre estos dos parámetros una relación positiva, lo que indica que esta relación es producto de la contaminación que se produce por el vertimiento de desechos y aguas residuales al mar y es depende del tipo de roca que se utiliza en la fabricación del ácido fosfórico (The Association of Florida Phosphate Chemist, 1979).

pH y zinc ($r^2 = 0.652$ y 0.601 en julio de 1994 y agosto de 1995 respectivamente); Zirino y Yamamoto (1972), asociaron el zinc con la producción fitoplanctónica que a su vez modifica el pH es decir, una alta producción primaria con un incremento del pH; sin dejar de considerar una remoción del metal en medio ácido.

Las diferencias entre plomo y cadmio en agua de mar son debidas a situaciones diferentes; es decir, mientras la distribución del plomo en el océano esta controlada por los depósitos atmosféricos la del cadmio está controlada por la advección y las surgencias (Muñoz - Barbosa *et al.*, 2000). Sin embargo, en el presente estudio se presentó una relación directa en julio de 1994 y febrero de 1995 ($r^2 = 0.805$ y 0.558 respectivamente) lo cual puede deberse al tipo de roca fosfórica con la que se haya trabajado en estos meses, donde por ejemplo, la roca proveniente de Estados Unidos presenta una concentración de 5 a 40 $\mu\text{g/g}$ de cadmio y de 5 a 9 $\mu\text{g/g}$ de plomo (Gustafson, 1944; Collings, 1947; The Association of Florida Phosphate Chemist, 1979).

El zinc presentó una relación directa con flúor en agosto de 1995 ($r^2 = 0.567$), lo cual puede deberse al tipo de roca con la que se haya fabricado el ácido fosfórico en ese mes y por lo tanto es una relación causada por la contaminación de los desechos y aguas residuales (The Association of Florida Phosphate Chemist, 1979).

METALES EN SEDIMENTO

Los resultados de la concentración de metales pesados, el análisis granulométrico y de materia orgánica en el sedimento se muestran en las tablas 6 (julio de 1994) y 7 (febrero de 1995).

TABLA 6. CONTENIDO DE METALES PESADOS Y MATERIA ORGÁNICA EN EL SEDIMENTO SUPERFICIAL, EN EL ÁREA MARINA FRENTE AL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS, MICHOACÁN (JULIO, 1994).

ESTACIÓN	Fe μg/kg	Zn μg/g	% MATERIA ORGÁNICA	TIPO DE SEDIMENTO
1	3.1	< 0.01	2.1	ARENA
2	1.0	< 0.01	1.9	ARENA
3	1.2	< 0.01	1.6	ARENA
4	1.0	< 0.01	1.5	ARENA
5	1.0	< 0.01	1.7	ARENA
6	1.0	< 0.01	1.8	ARENA
7	1.0	< 0.01	1.6	ARENA
8	0.6	< 0.01	1.1	ARENA
9	0.6	< 0.01	1.4	ARENA
10	1.0	< 0.01	1.6	ARENA
11	1.2	< 0.01	1.3	ARENA
12	1.0	< 0.01	1.1	ARENA
13	1.3	< 0.01	1.0	ARENA*
14	1.3	< 0.01	1.1	ARENA*
15	1.2	< 0.01	1.6	ARENA*
16	1.3	< 0.01	1.5	ARENA*
17	1.3	< 0.01	3.9	ARENA*
18	1.0	< 0.01	4.6	ARENA*
19	1.2	2.0	2.9	ARCILLA
20	1.0	2.1	2.7	ARCILLA
21	1.2	2.1	2.8	ARCILLA
22	1.0	2.0	3.0	ARCILLA
23	1.0	2.0	2.7	ARENA
24	0.9	2.1	2.6	ARENA
25	1.2	1.1	2.8	ARCILLA

* Arenas con impregnación de fosfoyeso

TABLA 7. CONTENIDO DE METALES PESADOS Y MATERIA ORGÁNICA EN EL SEDIMENTO SUPERFICIAL, EN EL ÁREA MARINA FRENTE AL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS, MICHOACÁN (FEBRERO, 1995)

ESTACIÓN	Fe $\mu\text{g}/\text{kg}$	Cd $\mu\text{g}/\text{g}$	%MATERIA ORGÁNICA	TIPO DE SEDIMENTO
1	1.9	< 0.1	1.5	ARENA
2	0.5	< 0.1	1.6	ARENA
3	1.5	< 0.1	1.9	ARENA
4	1.3	< 0.1	2.1	ARENA
5	1.5	< 0.1	1.5	ARENA
6	1.5	< 0.1	1.2	ARENA
7	1.2	< 0.1	0.8	ARENA
8	1.1	< 0.1	1.8	ARENA
9	1.0	< 0.1	1.9	ARENA
10	1.3	< 0.1	1.4	ARENA*
11	1.0	< 0.1	1.1	ARENA*
12	1.0	< 0.1	1.5	ARENA
13	1.0	1.1	1.5	ARENA*
14	1.5	1.1	1.0	ARENA*
15	1.1	< 0.1	1.1	ARENA*
16	1.1	1.0	3.1	ARENA*
17	0.5	1.1	2.0	ARENA*
18	1.5	< 0.1	2.1	ARENA*
19	1.1	< 0.1	2.3	ARENA**
20	1.0	< 0.1	2.1	ARENA**
21	1.5	< 0.1	1.2	ARCILLA
22	1.3	< 0.1	2.5	ARENA**
23	0.9	< 0.1	2.1	ARENA**
24	1.1	< 0.1	1.9	ARENA**
25	1.5	< 0.1	2.5	ARENA-LIMO- ARCILLA

* Arenas con impregnación de fosfoyeso

** Presencia de gravas

Cobre y Plomo: Los resultados señalaron que el cobre no fue detectado en concentraciones superiores a $0.06 \mu\text{g}/\text{g}$ y el plomo en concentraciones por arriba de $0.01 \mu\text{g}/\text{g}$. En los estudios previos, el plomo señaló un contenido de $0.01 \mu\text{g}/\text{g}$ y el cobre de $0.05 \mu\text{g}/\text{g}$ (FERTIMEX, 1990) y en 1993 el contenido de plomo fue de $8.73 \mu\text{g}/\text{g}$ y de cobre $2.11 \mu\text{g}/\text{g}$ (SISSA, 1994). En Guaymas las concentraciones registradas fueron para cobre de $1.16 \mu\text{g}/\text{g}$ y para plomo de 34

$\mu\text{g/g}$ (Ortiz, 2001), en sedimentos de Baja California, se han registrado concentraciones de 4.9 a 23 $\mu\text{g/g}$ de cobre y de 6 a 21 $\mu\text{g/g}$ de plomo (Villaescusa - Celaya *et al.*, 2000), en la Bahía de Mazatlán el plomo se observó en 18.4 y 50.4 $\mu\text{g/g}$ y el cobre en 2.2 y 20.6 $\mu\text{g/g}$ (Soto - Jiménez *et al.*, 2001), en el bajo Golfo de California el plomo se encontró en 14 $\mu\text{g/g}$ y el cobre en 4.0 $\mu\text{g/g}$ (Páez - Osuna y Osuna López 1990b) en La Paz, BCS el plomo fue de 23.8 a 89 $\mu\text{g/g}$ y el cobre de 2.51 a 30.44 $\mu\text{g/g}$ (Shumilin *et al.*, 2001), en Hawaii el plomo registro 7.19 a 16.5 $\mu\text{g/g}$ y el cobre de 8.03 a 20.5 $\mu\text{g/g}$ (Esslemont, 2000), en Australia el plomo promedio fue de 113.6 $\mu\text{g/g}$ y el cobre 32.8 $\mu\text{g/g}$ (MacFarlane *et al.*, 2000), lo cual indica que los contenidos observados en este estudio son menores que los obtenidos por otros autores. Es decir, que la descarga de fosfoyeso y de aguas residuales no están influyendo en el sedimento de esta área en cuanto a plomo y cobre.

Fierro: En el caso del fierro, el promedio en julio de 1994 fue de 1.14 $\mu\text{g/kg}$, con un máximo de 3.1 $\mu\text{g/kg}$ en la estación 1 (localizada a 2.5 km al suroeste de la desembocadura) y un mínimo de 0.06 $\mu\text{g/kg}$ en las estaciones 8 y 9 (ubicadas a 2 km al suroeste del río). Para febrero de 1995, el promedio de fierro fue de 1.19 $\mu\text{g/kg}$, el máximo contenido 1.19 $\mu\text{g/kg}$ se ubicó nuevamente en la estación 1 y el mínimo de 0.5 $\mu\text{g/kg}$ en las estaciones 2 y 17 (situadas a 2.4 km y 875 m al suroeste de la desembocadura respectivamente). Comparando con estudios previos de la zona, se encontraron concentraciones < 0.06 $\mu\text{g/g}$ (FERTIMEX, 1990) y de 7,032 $\mu\text{g/g}$ (SISSA, 1994). Villaescusa - Celaya *et al.* (2000) informaron un contenido entre 1.36 y 4.6 $\mu\text{g/g}$ en sedimentos de Baja California, Páez - Osuna y Osuna - López (1990b) registraron en la fracción orgánica del sedimento del Bajo Golfo de California en la plataforma continental contenidos de fierro de 330 $\mu\text{g/g}$. Las concentraciones en este estudio fueron menores a las registradas por otros autores, lo que indicaría que la descarga de FERTINAL y de las demás industrias de la zona, no está alterando la concentración de fierro en el ambiente marino frente al Puerto de Lázaro Cárdenas y que las concentraciones máximas registradas en la estación 1 pueden deberse a la acumulación de desechos y aguas residuales de la dársena suroeste del puerto, lugar donde se ubica SICARTSA.

Cadmio: El cadmio presentó en julio de 1994 un contenido de 0.1 $\mu\text{g/g}$ en todas las estaciones; mientras que en la columna de agua el promedio fue de 51 $\mu\text{g/l}$. En febrero de 1995, 21 estaciones observaron un nivel < 0.1 $\mu\text{g/g}$; sin embargo, las estaciones 13, 14 y 17 presentaron 1.1 $\mu\text{g/g}$ y la estación 16 1.0 $\mu\text{g/g}$

(estaciones situadas a una distancia entre 1.1 y 0.57 km al suroeste de la desembocadura del Balsas); en este muestreo, la columna de agua señaló un contenido promedio de 61.2 $\mu\text{g/l}$, las estaciones 16 y 17 de 70 $\mu\text{g/l}$ y la 13 y 14 de 50 $\mu\text{g/l}$.

Otros estudios en la zona mostraron contenidos de $< 0.01 \mu\text{g/g}$ (FERTIMEX, 1990) y de 0.34 $\mu\text{g/g}$ (SISSA, 1994). Para la Bahía de Guaymas, Ortiz (2001) reportó 1.6 $\mu\text{g/g}$; en el bajo Golfo de California los contenidos de cadmio se observaron en 1.4 $\mu\text{g/g}$ en la fracción orgánica del sedimento (Páez - Osuna y Osuna - López, 1990b); en la Bahía de Mazatlán el cadmio registrado fue de 0.4 $\mu\text{g/g}$ (Soto - Jiménez *et al.*, 2001). En sedimentos de otras partes del mundo, se han registrado concentraciones entre 0.13 y 5.4 $\mu\text{g/g}$ frente a los Angeles, California; de 11 a 25 $\mu\text{g/g}$ en la Bahía de Swansea, Gales y de 1.7 $\mu\text{g/g}$ en la Bahía de Santa Mónica, California; datos de muestras de la costa (Fergusson, 1990); en Hawaii, se han registrado contenidos de 0.09 a 5.97 $\mu\text{g/g}$ (Esslemont, 2000).

Aún cuando los contenidos de cadmio informados en el presente trabajo se encuentran por debajo de lo registrado por otros autores, las concentraciones en la columna de agua de este elemento traza fueron altas con respecto a lo encontrado en aguas costeras y oceánicas.

Zinc: Para julio de 1994, las 18 estaciones localizadas al suroeste de la desembocadura del Balsas señalaron un contenido $< 0.01 \mu\text{g/g}$ y las estaciones ubicadas al sureste del río e inclusive la situada dentro del Balsas, registraron niveles que van de 1.1 a 2.1 $\mu\text{g/g}$. En contraste, la columna de agua presentó en las estaciones ubicadas al suroeste los contenidos más altos de zinc (1,390 a 580 $\mu\text{g/l}$); mientras que, las localizadas al sureste presentaron concentraciones entre 50 y 100 $\mu\text{g/l}$. En febrero de 1995, la concentración de zinc fue de $< 0.1 \mu\text{g/g}$ en todas las estaciones; por su parte en la columna de agua, el promedio fue de 70.8 $\mu\text{g/l}$. Las concentraciones reportadas por otros autores para el área de estudio y otras partes del país y el mundo, señalaron niveles entre < 0.01 a 2.1 $\mu\text{g/g}$ (FERTIMEX, 1990) valores que coinciden con los que se registraron en el presente estudio y de 28.49 $\mu\text{g/g}$ en 1993 (SISSA, 1994) muy por arriba de lo actualmente encontrado. En la Bahía de Guaymas, el contenido de zinc fue de entre 8 y 8.6 $\mu\text{g/g}$ (Ortiz, 2001), de 65 $\mu\text{g/g}$ en Baja California (Villaescusa - Celaya *et al.*, 2000), en la Bahía de Mazatlán de 51.4 a 122.5 $\mu\text{g/g}$ (Soto - Jiménez *et al.*, 2001) mientras que en el Puerto de Mazatlán

los contenidos fueron entre 4.64 y 34.78 $\mu\text{g/g}$ (Soto - Jiménez y Páez - Osuna, 2001), en la fracción orgánica de los sedimentos del bajo Golfo de California se registró un contenido de 7.3 $\mu\text{g/g}$ (Páez - Osuna y Osuna - López, 1990a), en La Paz, B.C.S, entre 2.7 y 125 $\mu\text{g/g}$ (Shumilin *et al.*, 2001); en el Puerto Jacisos y el estuario del Río Hawakesbury en Australia 146.4 $\mu\text{g/g}$ (MacFarlan *et al.*, 2000) y en Hawaii el contenido fue de 23.7 a 47.1 $\mu\text{g/g}$ (Esslemont, 2000) todos estos valores superiores a los registrados en el Puerto de Lázaro Cárdenas. Se destaca que aun cuando la columna de agua presentó contenidos altos de zinc, esto aparentemente no está repercutiendo en el contenido del sedimento.

Materia Orgánica:

El contenido de materia orgánica en julio de 1994, tuvo un máximo de 4.6% en la estación 18 (donde se ubicaba la fractura del yesoducto); y un promedio de 2.1% (Tabla 6). En cuanto al tipo de sedimento, el 56% de las estaciones fueron de arena, el 24% de arena con fosfoyeso (estaciones 13 a 18 cerca de la fractura del yesoducto) y el 20% restante fue de arcillas (Fig. 29). No se observaron correlaciones significativas entre la materia orgánica y los metales del sedimento.

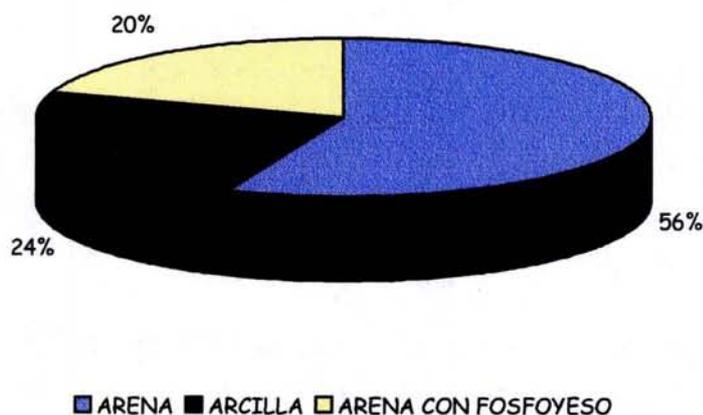


Fig. 29. % de Estaciones que presentan cada tipo de sedimento en el área marina frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. en julio de 1994.

En febrero de 1995, la materia orgánica presentó un contenido máximo de 3.1% en la estación 16 (ubicada a 400 m al norte de la ruptura del yesoducto) y un promedio de 1.5% (Tabla 7). El tipo de sedimento fue en 40% de las estaciones de arena, en 32% de arena con impregnación de fosfoyeso, en 20% de arenas con gravas, en 4% de arcillas y en 4% de arena - limo - arcilla (Fig. 30). No se observaron correlaciones significativas entre la materia orgánica y los metales del sedimento.

El contenido de materia orgánica registrado para el área de estudio fue de 2.73% (SISSA, 1994), en la bahía de Guaymas de 2.15% (Ortiz, 2001). Sverdrup *et al.*, 1970 consideran que el valor promedio de materia orgánica en áreas costeras someras debe ser menor al 2.5%. El contenido promedio registrado en este trabajo se ubica por debajo del valor propuesto por los últimos autores, pero la contenidos máximos encontrados cerca de la ruptura del yesoducto están por arriba de este valor, lo que indicaría una situación de contaminación.

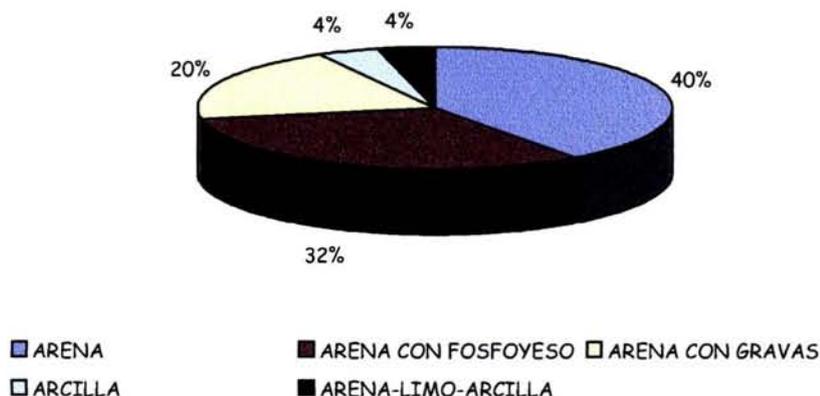


Fig. 30. % de Estaciones que presentan cada tipo de sedimento en el área marina frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. en febrero de 1995.

Parámetros Biológicos:

En julio de 1994, se identificaron un total de 355 organismos pertenecientes a los phyla Annelida, Arthropoda y Mollusca (Tabla 8). Los moluscos fueron el grupo dominante con una abundancia de 155 organismos, cuatro géneros y cinco especies, siendo la especie *Tellina virgo* la más abundante con 44 organismos ubicados en las estaciones 7 (1.8 km al suroeste del río), 9 (2 km al suroeste del río), 21 (1 km al sureste) y 23 (1.5 km al sureste del río).

TABLA 8. ABUNDANCIA DE ORGANISMOS, REGISTRADOS, EN EL ÁREA FRENTE AL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS MICHOACÁN, MÉXICO. JULIO DE 1994.

ESTACIÓN	GÉNERO/ESPECIE	No. ORGANISMOS	AMBIENTE
	ANÉLIDOS/m ²		
1	<i>Clymenella sp</i>	15	ARENA
2	<i>Clymenella sp</i>	5	ARENA
5	<i>Clymenella sp</i>	3	ARENA
	<i>Dispia uncinata</i>	5	ARENA
	<i>Glycera sp</i>	3	ARENA
6	<i>Polydora sp</i>	10	ARENA
7	<i>Dispia uncinata</i>	15	ARENA
8	<i>Glycera sp</i>	5	ARENA
19	<i>Dispia uncinata</i>	8	ARCILLA
21	<i>Polydora sp</i>	3	ARCILLA
22	<i>Polydora sp</i>	8	ARCILLA
	<i>Glycera sp</i>	10	ARCILLA
	CRUSTÁCEA/m ²		
19	<i>Albunea lucasia</i>	3	ARCILLA
	<i>Lepidopa mearnsi</i>	3	ARCILLA
	<i>Orchestia sp</i>	13	ARCILLA
20	<i>Orchestia sp</i>	8	ARCILLA
21	<i>Albunea lucasia</i>	8	ARCILLA
22	<i>Albunea lucasia</i>	10	ARCILLA
23	<i>Albunea lucasia</i>	5	ARENA
24	<i>Albunea lucasia</i>	3	ARENA
	<i>Emerita rathbunae</i>	18	ARENA
	<i>Gammarus mucronatus</i>	8	ARENA
	<i>Microphoxus sp</i>	8	ARENA
	<i>Paraphoxus sp</i>	23	ARENA
	MOLLUSCA/m ²		
1	<i>Anadara sp</i>	3	ARENA
4	<i>Littorina pullata</i>	15	ARENA
	<i>Littorina modesta</i>	3	ARENA
5	<i>Littorina pullata</i>	5	ARENA
	<i>Nucula sp</i>	3	ARENA

7	<i>Tellina virgo</i>	8	ARENA
9	<i>Tellina virgo</i>	23	ARENA
	<i>Terebra corintoensis</i>	8	ARENA
19	<i>Terebra corintoensis</i>	15	ARCILLA
	<i>Terebra glauca</i>	18	ARCILLA
20	<i>Terebra corintoensis</i>	8	ARCILLA
	<i>Terebra larvaeformis</i>	18	ARCILLA
21	<i>Tellina virgo</i>	5	ARCILLA
23	<i>Tellina virgo</i>	8	ARENA
	<i>Terebra corintoensis</i>	15	ARENA

Los crustáceos estuvieron representados por 110 organismos, siete géneros y siete especies, siendo el anfípodo *Paraphoxus* sp el género más abundante con 23 organismos que se localizaron en la estación 24 (1 km al sureste de la desembocadura del Balsas).

Los anélidos presentaron una abundancia de 90 organismos, cuatro géneros y cuatro especies, siendo las especies *Dispia unticata* y *Clymenella* sp las de mayor abundancia con 15 organismos cada una, la primera se localizó en las estaciones 5 y 7 (ubicadas a una distancia promedio de 2.1 km al suroeste de la desembocadura) y en la estación 19 (situada a 1 km al sureste del río), mientras que la segunda especie se colectó en las estaciones 1, 2 y 5 (a una distancia aproximada de 2.4 km al suroeste del Río Balsas).

Como se observa en la figura 31, el número máximo de individuos se presentó en la estación 19 (localizada a 1 km al sureste de la desembocadura), sin embargo 10 estaciones no presentaron organismos, éstas fueron la 3, 10 a 18 y 25 (situadas a 2.6 km, entre 1 km y 2 km al suroeste de la desembocadura y 375 m en la margen derecha del Balsas, respectivamente).

La ruptura del yesoducto ubicada en la estación 18, impacto de manera tal que provocó una mortandad de organismos en las estaciones 10 a 18, donde el fosfoyeso se sedimentó y cubrió el sustrato en un radio aproximado de 1 km. En la estación 25, aunque no presentó impregnación de fosfoyeso, no se encontraron organismos, como posible consecuencia de ser el punto donde se ubica la descarga de aguas residuales de la planta de FERTINAL.

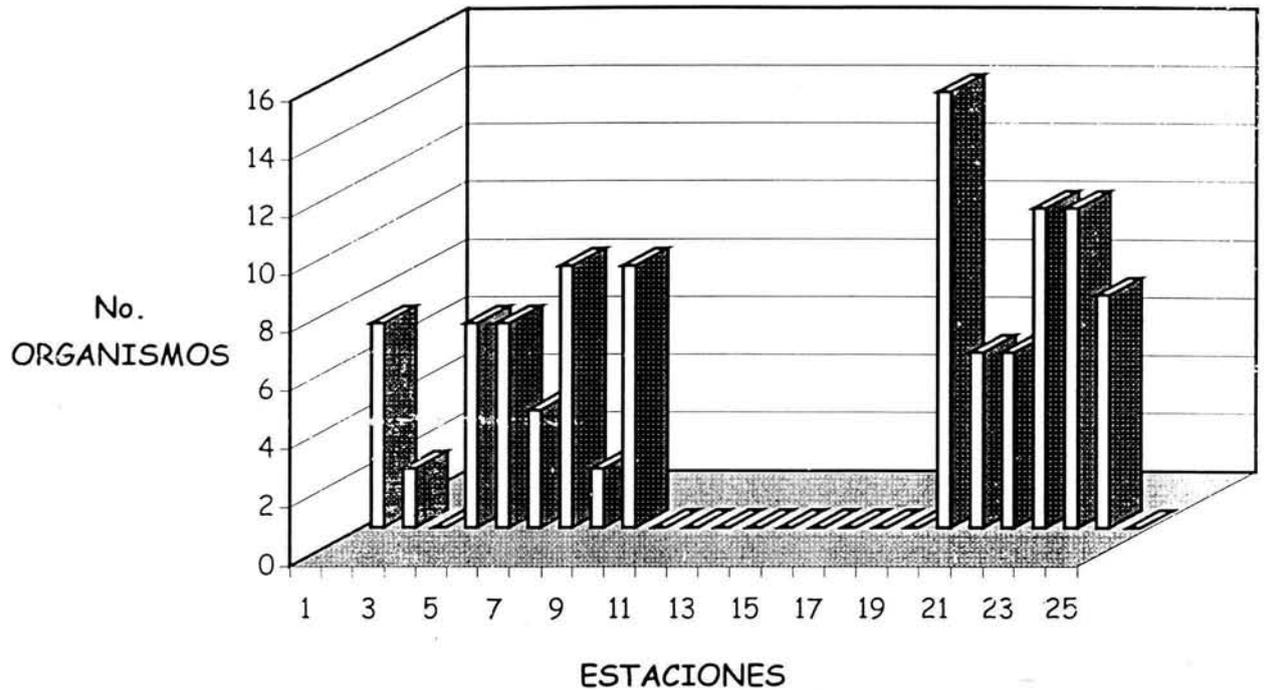


Fig. 31. Distribución de los organismos en el sedimento, en el área marina frente a la costa del Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich., julio de 1994.

La densidad promedio en el área de estudio fue de 13.7 organismos/m². El 61.3% de los organismos se encontró en un ambiente de arena y el 38.7% en arcilla. En las estaciones donde no se registraron organismos, el sedimento presentó un porcentaje de materia orgánica promedio de 1.96% y el tipo de sedimento fue de arena con impregnación de fosfoyeso (estaciones 10 a 18), la estación 3 presentó arena y la 25 arcilla.

En febrero de 1995 se identificaron 165 organismos pertenecientes a los Phyla Annelida, Arthropoda y Mollusca (Tabla 9); 6.56% menos organismos que en julio de 1994.

TABLA 9. ABUNDANCIA DE ORGANISMOS REGISTRADOS, EN EL ÁREA FRENTE AL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS, MICHOACÁN, MÉXICO. FEBRERO DE 1995.

ESTACIÓN	GÉNERO/ESPECIE	No. ORGANISMOS	TIPO SEDIMENTO
	ANÉLIDOS/m ²		
1	<i>Dispia uncinata</i>	10	ARENA
2	<i>Glycera sp.</i>	5	ARENA
4	<i>Dispia uncinata</i>	4	ARENA
	<i>Glycera sp.</i>	3	ARENA
6	<i>Glycera sp.</i>	4	ARENA
7	<i>Dispia uncinata</i>	8	ARENA
8	<i>Dispia uncinata</i>	4	ARENA
9	<i>Dispia uncinata</i>	4	ARENA
10	<i>Polydora sp.</i>	1	ARENA
22	<i>Polydora sp.</i>	4	ARENA**
23	<i>Glycera sp.</i>	5	ARENA**
	CRUSTÁCEA/m ²		
19	<i>Orchestia sp.</i>	4	ARENA**
20	<i>Lepidopa mearnsi</i>	4	ARENA**
	<i>Microphoxus sp.</i>	5	ARENA**
21	<i>Albunea lucasia</i>	8	ARENA**
22	<i>Lepidopa mearnsi</i>	6	ARENA**
23	<i>Albunea lucasia</i>	4	ARENA**
24	<i>Albunea lucasia</i>	3	ARENA**
	<i>Microphoxus sp.</i>	4	ARENA**
	MOLLUSCA/m ²		
4	<i>Littorina modesta</i>	4	ARENA
5	<i>Littorina pullata</i>	8	ARENA
7	<i>Tellina virgo</i>	5	ARENA
9	<i>Tellina virgo</i>	9	ARENA
	<i>Terebra corintoensis</i>	6	ARENA
19	<i>Terebra glauca</i>	10	ARENA**
20	<i>Terebra corintoensis</i>	9	ARENA**
	<i>Terebra larvaeformis</i>	4	ARENA**
21	<i>Terebra corintoensis</i>	10	ARENA**
24	<i>Tellina virgo</i>	4	ARENA**
	<i>Terebra corintoensis</i>	6	ARENA**

** Presencia de gravas

Nuevamente los moluscos fueron el grupo más abundante con 75 organismos, tres géneros y seis especies. La especie *Terebra corintoensis* fue la predominante con 31 individuos, en las estaciones 9 (localizada a 2 km al suroeste de la desembocadura), 20, 21 y 24 (situadas entre 1 y 1.5 km al sureste del río).

Los anélidos contaron con 52 organismos (12.5% más que en julio de 1994), tres géneros y tres especies. *Dispia uncinata* fue la más abundante con 30 individuos encontrándose en las estaciones 1, 4, 7, 8 y 9 (ubicadas a una distancia entre los 1.8 y 2.4 km al suroeste de la desembocadura del río).

Los crustáceos fueron representados por 38 organismos (31% menos que en julio de 1994), cuatro géneros y cuatro especies, siendo *Albunea lucasis* la especie más abundante con 15 organismos ubicados en las estaciones 21, 23 y 24 (situadas entre 0.4 y 1.3 km al sureste de la desembocadura).

Como se observa en la figura 32, de la estación 11 a la 18 no se colectaron organismos (ubicadas a una distancia entre 0.5 y 2 km al suroeste del Balsas). La estación 20 fue la que presentó el mayor número de organismos con 17 individuos. Esta estación se localizó a 1 km al sureste de la boca del río. Al igual que en julio de 1994, las estaciones ubicadas al sureste de la desembocadura del Río Balsas presentaron el mayor número de organismos (54.7%). La abundancia promedio en este muestreo fue de 6.4 organismos/m².

En las estaciones en donde no se registraron organismos (11 a 18), el tipo de sedimento fue de arena con impregnación de fosfoyeso, con un promedio materia orgánica de 2.7%. Las estaciones 3 y 25 tampoco contaron con organismos, en la primera se observó un contenido de materia orgánica de 1.9% y el tipo de sedimento fue de arena, mientras que en la segunda, el contenido de materia orgánica fue de 2.5% y el tipo de sedimento fue arena - limo - arcilla.

Fue evidente que la ruptura del yesoducto ubicada en la estación 18, provocó una mortandad de organismos en las estaciones 10 a 18, donde el fosfoyeso se sedimentó y cubrió el sustrato, esto alcanzó un radio aproximado de 1 km. La estación 25 ubicada a 375 m en la margen derecha del río, aunque no presentó impregnación de fosfoyeso, no se encontraron organismos como posible consecuencia de ser el punto donde se ubica la descarga de aguas residuales de la planta de FERTINAL. Comparado con estudios previos realizados en el área de estudio, durante 1978 y 1979 se registró un total de 1,438 individuos representados por 17 antozoarios, 459 poliquetos, 507 moluscos, 386 crustáceos, 33 foraminíferos y 36 equinodermos (Romero *et al.*, 1980) (Anexo 1). En mayo de 1990 (FERTIMEX, 1990) se registró un total de 436 organismos comprendidos por 11 moluscos, cuatro crustáceos y cuatro anélidos (Anexo 2).

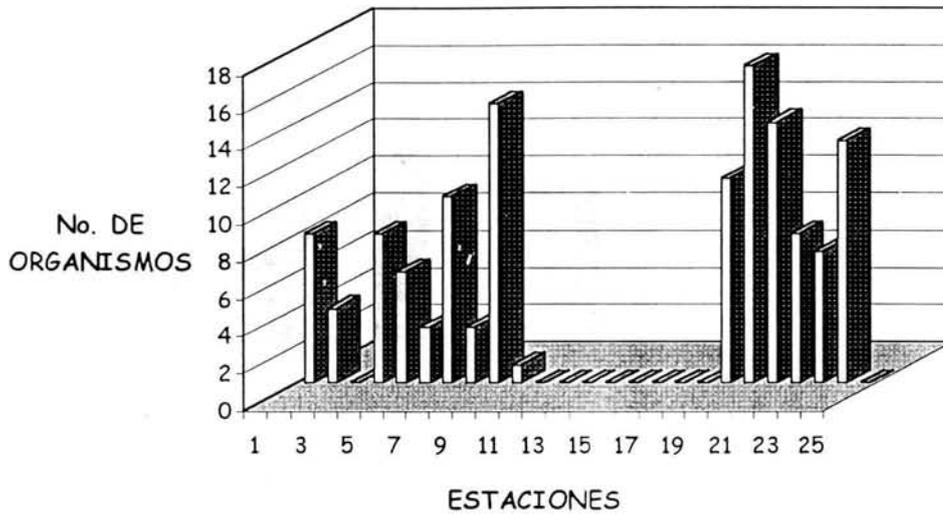


Fig. 32. Distribución de los organismos en el sedimento, en el área marina frente a la costa del Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. febrero de 1995.

En el estudio realizado en 1978 y 1979 antes del establecimiento de la planta de FERTINAL se estudiaron ocho estaciones, en 1990 seis estaciones y durante el presente estudio 25 estaciones, lo que permite aparentemente observar la disminución de organismos bentónicos en el área marina del Puerto de Lázaro Cárdenas. En la figura 33 se observa que únicamente el muestreo de marzo de 1979 (142 organismos registrados) se acerca a los datos actuales; sin embargo, sólo se consideraron ocho estaciones.

Con estos datos se puede observar que se ha presentado no solamente una disminución sino un cambio en la composición bentónica del área de estudio (Tabla 10).

Tabla 10. Composición bentónica registrados de diferentes estudios.

ESTUDIO	1978-1979	1990	1994	1995
Anélidos	<i>Sige spp.</i> (77 individuos)	<i>Polydora sp.</i> (337 individuos)	<i>Dispia unticata</i> y <i>Clymenella sp.</i> (15 individuos cada una).	<i>Dispia unticata</i> (30 individuos)
Crustáceos	Anfípodos (224 individuos)	<i>Psammonyx sp.</i> (37 individuos)	<i>Paraphoxus sp.</i> (23 individuos)	<i>Albunea lucasis</i> (15 individuos)
Moluscos	<i>Oliva sp.</i> (83 individuos)	<i>Tellina virgo</i> (12 individuos)	<i>Tellina virgo</i> (44 individuos)	<i>Terebra cotintoensis</i> (35 individuos).

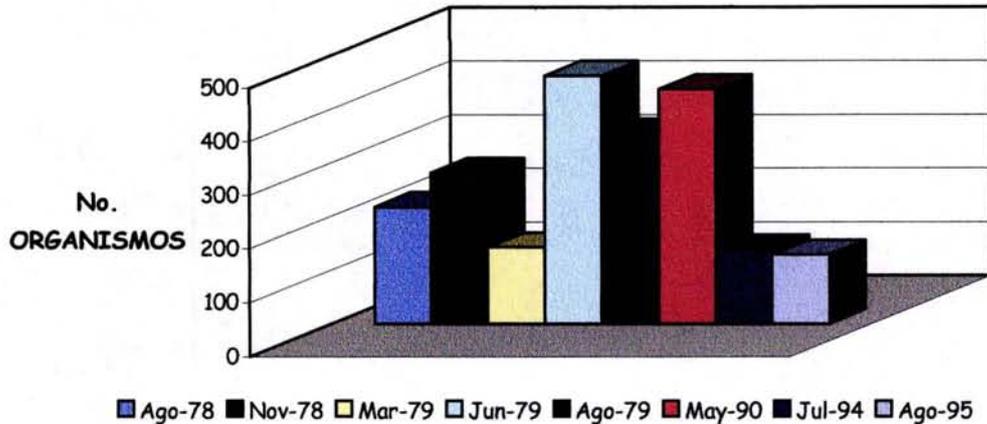
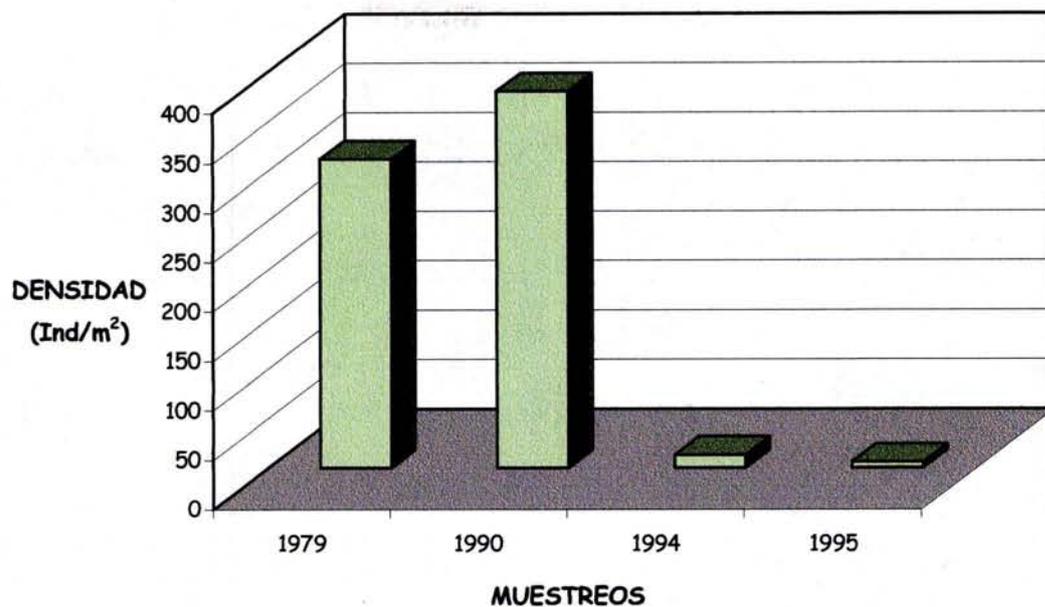


Fig. 33. Número de organismos en el área marina frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. en diferentes estudios (1978 - 1995).

Densidad:

En cuanto a la densidad, para julio de 1994 fue de 13.7 organismos/m² promedio, con un máximo de 23 organismos/m² y en algunas estaciones con ninguno. En febrero de 1995, la densidad promedio fue de 6.4 organismos/m², con un máximo de 10 organismos/m² e incluso estaciones con sin organismos. Estudios anteriores informaron 313 organismos/m² (Romero *et al.*, 1980) y 381 organismos/m² (FERTIMEX, 1990). El número de organismos ha disminuido notablemente con respecto a los informes anteriores (Fig. 34) y además, se observa que no existió una distribución homogénea en el área de estudio, ya que hubo estaciones con densidad cero en el presente trabajo, que reflejo la contaminación no solamente en la columna de agua sino en el sedimento. Comparado con 1990, la mayor riqueza en ese estudio se presentó cerca de la estación 9 con 14 especies, en cuanto a la densidad, se presentaron 1555 organismos/m² en la estación 14 donde en la actualidad la densidad es de cero (FERTIMEX, 1990).

Fig. 34. Densidad bentónica en el área marina frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

**Diversidad:**

En cuanto al índice de diversidad, en julio de 1994 presentó un promedio de 0.44 bits/individuo, un máximo de 2.11 bits/individuo en la estación 19 (ubicada a 370 m al sureste de la desembocadura) y un mínimo de cero bits/individuo en 16 estaciones (Tabla 11).

TABLA 11. ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON-WIENER EN LA ZONA DE ESTUDIO (JULIO DE 1994).

ESTACIÓN	IND/m ²	No. ESPECIES	DIVERSIDAD H'	H' MÁXIMA	EQUIDAD "J" o "E"
1	18	2	0.0	1.0	0.0
2	5	1	0.0	1.0	0.0
3	0	0	0.0	0.0	0.0
4	18	2	0.0	0.0	0.0
5	18	5	1.91	2.32	0.98
6	10	1	0.0	0.0	0.0
7	23	2	0.46	1.0	0.98
8	5	1	0.0	0.0	0.0
9	23	2	0.43	1.0	0.76
10	0	0	0.0	0.0	0.0
11	0	0	0.0	0.0	0.0
12	0	0	0.0	0.0	0.0
13	0	0	0.0	0.0	0.0
14	0	0	0.0	0.0	0.0
15	0	0	0.0	0.0	0.0
16	0	0	0.0	0.0	0.0
17	0	0	0.0	0.0	0.0
18	0	0	0.0	0.0	0.0
19	38	6	2.11	2.58	0.96
20	15	3	1.15	1.58	0.90
21	15	3	0.97	1.58	0.77
22	28	3	1.24	1.58	0.96
23	28	3	1.09	1.58	0.80
24	20	5	1.83	2.32	0.92
25	0	0	0.0	0.0	0.0

El índice de diversidad máximo en febrero de 1995 fue de 1.67 bits/individuo en la estación 20 (situada a 370 m al sureste de la desembocadura) y el mínimo fue de cero bits/individuo, con un promedio de 0.29 bits/individuo. Al igual que en julio de 1994, 16 estaciones presentaron una diversidad cero (Tabla 12).

TABLA 12. ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON-WIENER, EN LA ZONA DE ESTUDIO (FEBRERO 1995).

ESTACIÓN	IND/m ²	No. DE ESPECIES	DIVERSIDAD "H"	"H" MÁXIMA	EQUIDAD "E" O "J"
1	10	1	0.0	0	0
2	5	1	0.0	0	0
3	0	0	0.0	0	0
4	10	3	1.16	1.58	0.90
5	8	1	0.0	0	0
6	4	1	0.0	0	0
7	13	2	0.55	1.00	0.84
8	4	1	0.0	0	0
9	19	3	0.45	1.00	0.78
10	1	1	0.0	0	0
11	0	0	0.0	0	0
12	0	0	0.0	0	0
13	0	0	0.0	0	0
14	0	0	0.0	0	0
15	0	0	0.0	0	0
16	0	0	0.0	0	0
17	0	0	0.0	0	0
18	0	0	0.0	0	0
19	14	2	0.44	1.00	0.77
20	21	4	1.67	2.00	1.00
21	18	2	0.66	1.00	0.90
22	10	2	0.46	1.00	0.78
23	9	2	0.45	1.00	0.78
24	16	4	1.65	2.00	1.00
25	0	0	0.0	0	0

De las 16 estaciones donde la diversidad fue cero, nueve presentaron el sedimento impregnado de fosfoyeso (estaciones 10 a 18). Otra estación con diversidad cero fue la 25 donde se encuentra la descarga de aguas residuales de FERTINAL y las estaciones 1, 2 y 3 ubicadas frente a la dársena oeste con descargas de aguas residuales industriales y municipales y residuos de diferentes industrias. Las otras tres estaciones no presentaron características relevantes en cuanto a factores abióticos.

En estudios previos el índice de diversidad promedio fue de 2.87 bits/individuos; con un máximo de 3.56 bits/individuo y un mínimo de 1.91 bits/individuo (Romero *et al.*, 1980). En mayo de 1990, el promedio fue de 0.95

bits/individuo, con un máximo de 3.33 bits/individuo y un mínimo de 0.11 bits/individuo (FERTIMEX, 1990); la diversidad promedio del presente estudio fue menor que la registrada por estos autores, lo cual indica una contaminación de moderada a alta.

El índice de diversidad de Shannon - Wiener es útil como criterio de calidad del agua y los valores mayores a tres indican aguas limpias, entre uno y tres contaminación moderada y menores a uno contaminación alta (Wilhm y Dorris, 1968). Siguiendo este criterio, es claro que las estaciones 19 a 24 (localizadas al sureste de la desembocadura del Río Balsas) presentan aguas moderadamente contaminadas (diversidad entre 0.97 a 2.11 bits/individuo) y que las estaciones 1 a 18 y la estación 25 aguas altamente contaminadas con índices de diversidad de cero a 0.13 bits/individuo (situadas al suroeste de la desembocadura del río y dentro del mismo Río Balsas).

Organismos Bioindicadores:

La presencia de géneros como *Glycera* y *Polydora* indican contaminación por materia orgánica (Ortiz, 2001). El molusco *Tellina virgo* pertenece a la familia Tellinidae, la cual es considerada como consumidora de depósitos y parásita de otras especies, es considerada también como una especie favorecida por el enriquecimiento orgánico (Solis - Weiss, 1982; Ortiz, 2001).

Distribución de individuos:

La tabla 13 muestra la distribución de individuo por especie log - normal para julio de 1994 y la tabla 14 los datos de febrero de 1995. Después de condiciones de disturbio o contaminación, unas pocas especies tolerantes u oportunistas alcanzan gran abundancia; esto modifica el patrón gráfico y puede emplearse para evaluar la calidad ambiental (Fig. 34) (Salazar - Vallejo, 1991).

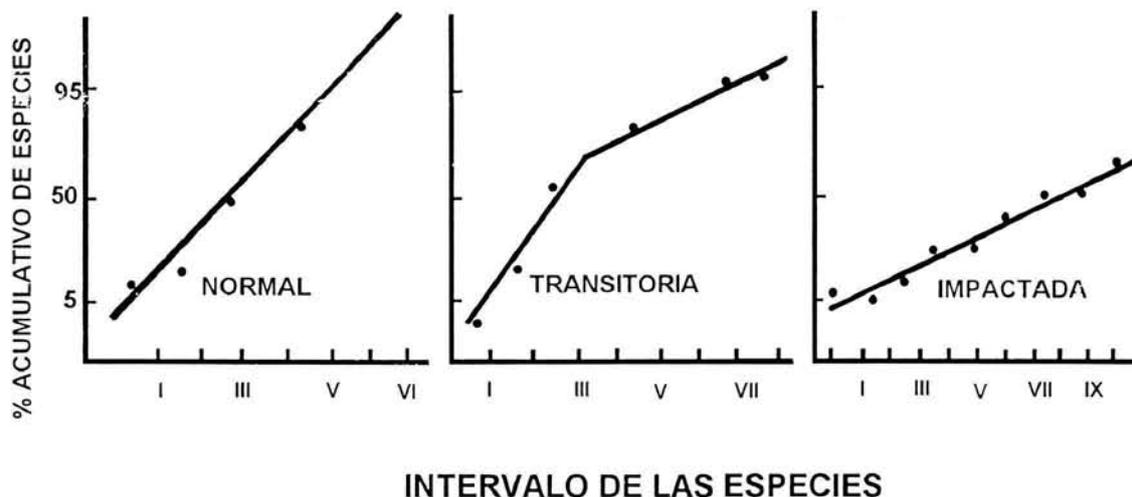


Fig. 34. Cambios en la abundancia relativa de las especies como resultado del aporte de contaminantes, evidenciado por la LN, antes, durante y después del impacto (tomada de Salazar - Vallejo, 1991).

TABLA 13. DISTRIBUCIÓN LOGARITMICA-NORMAL TEMPORAL DE LAS ABUNDANCIAS RELATIVAS (JULIO, 1994).

CLASE GEOMÉTRICA	CLASE ARITMÉTICA	No. DE ESPECIES	%	% ACUMULADO
I	1	9	23.68	23.68
II	2-3	15	39.47	63.15
III	4-7	12	31.57	94.72
IV	8-15	2	5.26	99.98

TABLA 14. DISTRIBUCIÓN LOGARITMICAS-NORMAL TEMPORAL DE LAS ABUNDANCIAS RELATIVAS (FEBRERO, 1995).

CLASE GEOMÉTRICA	CLASE ARITMÉTICA	No. DE ESPECIES	%	% ACUMULADO
I	1	1	3.33	3.33
II	2-3	14	46.66	49.99
III	4-7	12	40.00	89.99
IV	8-15	3	10.00	99.99

Como se observa en la figura 35, puede decirse que los organismos encontrados en el área frente al puerto de Lázaro Cárdenas están influenciados por la descarga de fosfoyeso y de aguas residuales, ubicándose en una fase transitoria (Fig. 34), ya que se observa una distribución truncada del lado izquierdo, ésta ilustra que en condiciones de disturbio moderado la mayoría de las especies tienen abundancias bajas debido al efecto de muchos factores que actúan al azar (Salazar - Vallejo, 1991).

Confrontando con las distribuciones de individuo por especie del tipo log - normal en marzo de 1979 y junio de 1979 (Fig. 35) se muestra una distribución normal (Fig. 34). En 1990 la distribución comienza a tomar forma de una distribución transitoria y en el presente estudio claramente se observa una población transitoria.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

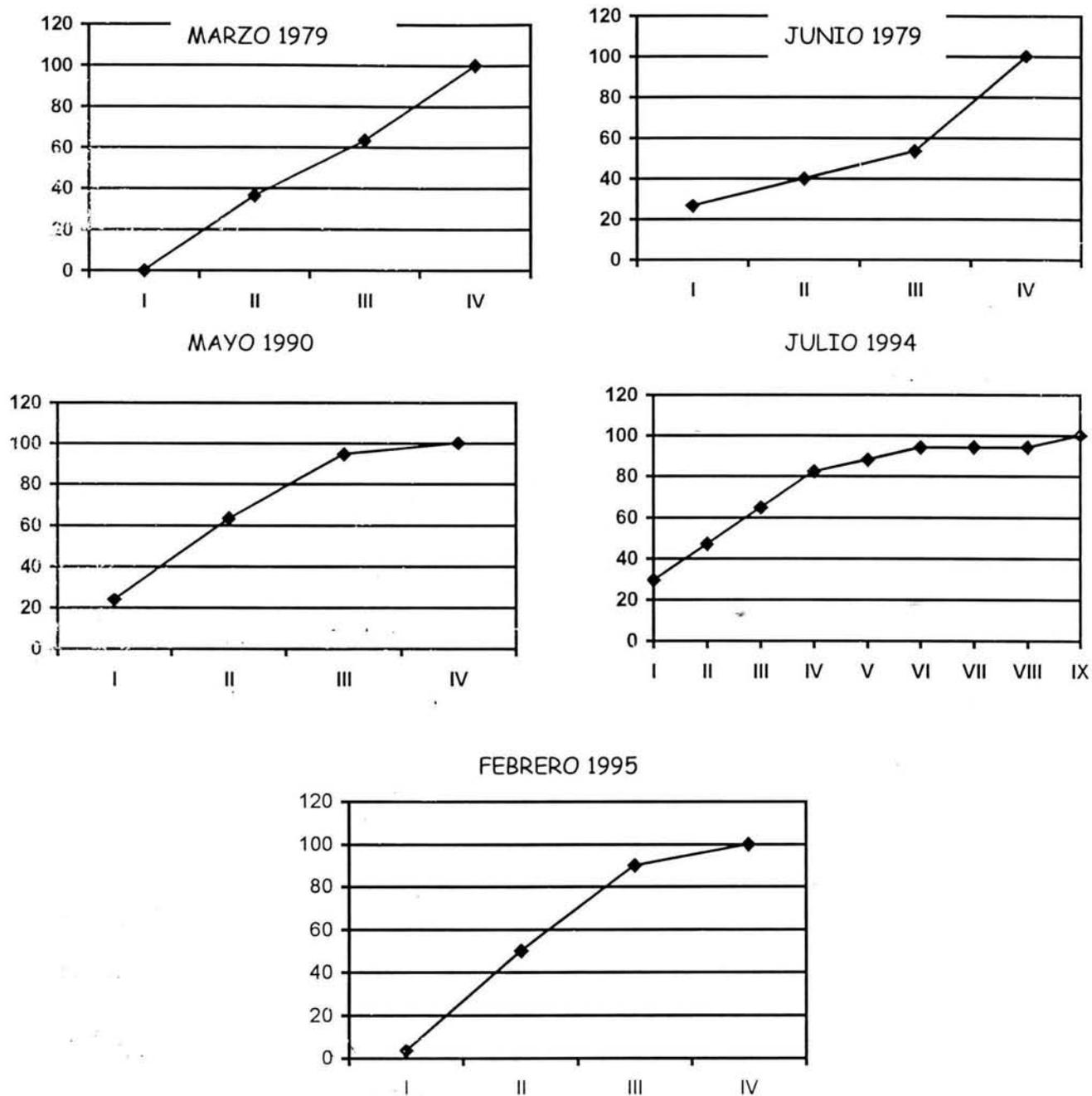


Fig. 35. Distribución logarítmica normal de las abundancias relativas de el área marina frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. en los diferentes estudios.

Fitoplancton:

Las densidades de fitoplancton para el área de estudio, se presentan en la tabla 15. Como puede observarse, la abundancia promedio fue de 199,840 células/l con un nivel máximo en la estación 2 (ubicada a 375 m al sur de la desembocadura del Río Balsas) con 2043,564 células/l y un mínimo de 31,780 células/l en la estación 8, localizada a 750 m al sureste del río.

TABLA 15. RESULTADOS DE LA DENSIDAD OBTENIDOS PARA FITOPLANCTON EN LÁZARO CÁRDENAS, MICHOACÁN.

ESTACIÓN	# TOTAL DE ORGANISMOS CÉLULA / LITRO	# DE GÉNEROS
1	60,063	22
2	2043,564	6
3	66,099	20
4	67,544	23
5	119,926	26
6	67,553	38
7	35,099	26
8	31,780	17
9	51,570	21
10	68,377	28
11	39,860	39
12	32,289	15
13	56,067	22
14	52,931	22

La estación 2 presentó una concentración de ortofosfatos de 1.92 μM y de nitratos de 36.88 μM ; la estación 8 por su parte, señaló 17.03 μM de ortofosfatos y 3.39 μM de nitratos. El oxígeno disuelto en la estación 2 fue de 4.39 ml/l (100.91% de saturación) y en la estación de 8 5.84 ml/l (115.86% de saturación).

La abundancia de cianobacterias se relaciona positivamente con la concentración de nitrógeno total en aguas del talud continental, indicando que las bacterias fijadoras de nitrógeno contribuyen con la concentración de nitrógeno (Lamber *et al.*, 1999).

Comparando con estudios previos la densidad promedio en 1978 - 1979 fue de 65,870 células/l, los géneros más abundantes y la densidad por muestreo se

observa en la tabla 16 (Romero *et al.*, 1980). En mayo de 1990 se observaron 168 taxa, la densidad promedio fue de 320,992 células/l, sobresaliendo por su abundancia numérica las diatomeas *Leptocylindrus daniscus*, *L. minimus*, *Rhizosolenia fragilissima*, *Guinardia flaccida* y *Cyclotella* sp la clorofita *Clamidomonas* sp y la cianofita *Oscillatoria* sp (FERTIMEX, 1990). La densidad como puede observarse ha variado con el tiempo pero sin marcar una tendencia.

Tabla 16. Géneros fitoplanctónicos más abundantes encontrados en el área marina frente al Puerto de Lázaro Cárdenas Mich. 1978 - 1979 (Romero *et al.*, 1980).

GÉNERO	%
<i>Chaetoceros</i> spp	35
<i>Asterionella japonica</i>	25
<i>Thalassionema nitzschoides</i> <i>Chaetoceros lascinosus</i> <i>C. pelagicus</i> <i>Climacodium frauenfeldiaum</i>	19
<i>Nitzschia</i> spp <i>Rhizosolenia</i> sp <i>Skeletonema costatum</i> <i>Biddulphia lorenzianus</i>	10
<i>Leptocylindruicus danicus</i>	5
Otras	6

En estudios recientes de la vegetación acuática en la Región del Balsas, Godínez (2000) informó para la zona de la desembocadura la presencia de la cianofita *Oscillatoria princeps*, la cual indica un estado intermedio de eutroficación, este género ya se presentaba desde 1990; esto aunado con la alta concentración de ortofosfatos corrobora un nivel de eutroficación en la zona.

Los índices de diversidad, diversidad máxima y equidad entre estaciones para fitoplancton se muestran en la tabla 17.

TABLA 17. DATOS DEL ÍNDICE DE DIVERSIDAD Y EQUIDAD POR ESTACIÓN DEL FITOPLANCTON OBTENIDO EN LÁZARO CÁRDENAS, MICHOACÁN

ESTACIÓN	# DE GÉNEROS (S)	DIVERSIDAD LOG ₂ BITS/INDIVIDUOS	EQUIDAD "E"
1	22	1.47	0.60
2	6	0.63	0.74
3	20	2.07	0.74
4	23	1.88	0.60
5	26	2.11	0.64
6	38	2.32	0.69
7	26	2.43	0.74
8	17	2.03	0.71
9	21	2.30	0.79
10	28	1.97	0.59
11	39	2.50	0.68
12	15	1.91	0.69
13	22	1.73	0.57
14	22	1.68	0.54

Los valores de diversidad tuvieron un máximo de 2.5 bits/individuo en la estación 11 (localizada a 1.4 km al suroeste de la desembocadura), el mínimo de 0.63 bits/individuo en la estación 2 (situada a 375 m frente de la desembocadura) y el valor promedio de 1.93 bits/individuo. Los valores obtenidos de diversidad señalan aguas moderadamente contaminadas (Wilhm y Dorris, 1968) en el área de estudio (diversidad entre 1.47 a 2.5 bits/individuo); sólo la estación 2 presentó un índice de diversidad de aguas altamente contaminadas.

Aunque la estación 2 presentó el mayor número de organismos, tuvo la menor diversidad con sólo seis géneros; mientras que la estación 11 contó con 39 géneros. En la última estación las condiciones fisicoquímicas en la columna de agua reportaron concentraciones altas de nitratos con 64.22 μM , ortofosfatos con 18.73 μM y oxígeno disuelto de 4.98 ml/l; el resto de los parámetros no fueron sobresalientes. Williams (1964) observó, que las estaciones eutrofizadas generalmente estuvieron representadas por unas pocas especies y el nivel de densidad fue usualmente alto. Mientras que, las estaciones limpias, tuvieron mayor composición de especies y el nivel de densidad fue menor.

La diversidad informada en estudios previos fue de 2.11 bits/individuos en agosto de 1978, 2.0 bits/individuo en noviembre de 1978, 2.44 bits/individuo en marzo de 1979, 1.68 bits/individuo en junio de 1979, 2.1 en agosto de 1979 y 3.53 en mayo de 1990 (Romero *et al.*, 1980; FERTIMEX, 1990). Los muestreos de 1978 - 1979 se llevaron a cabo en ocho estaciones, los de 1990 en seis y los del presente estudio en 14 estaciones; la diversidad del presente trabajo fue la más baja reportada para la zona (Fig. 36).

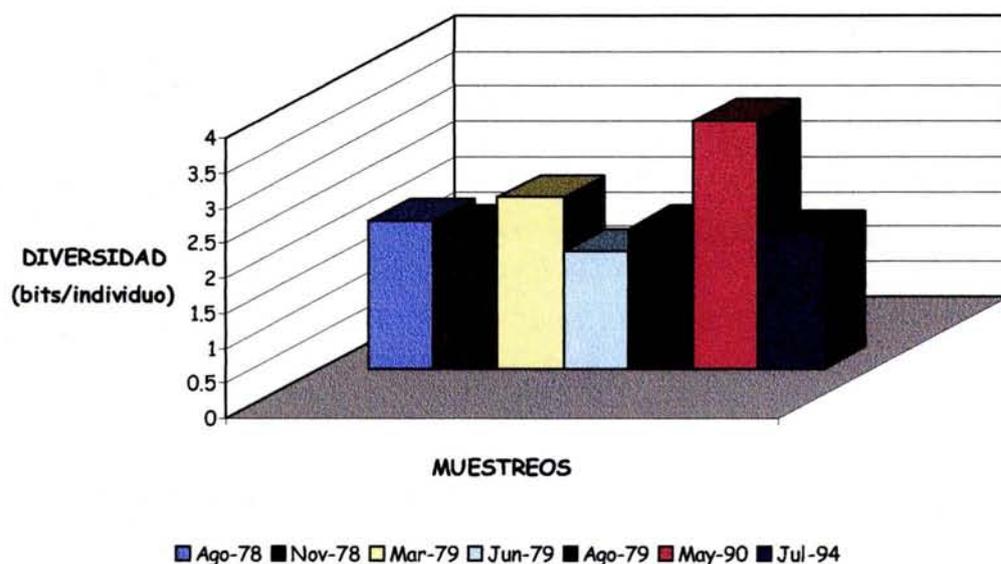


Fig. 36. Diversidad fitoplanctónica registrada en el área marina frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. en diferentes estudios.

Pesquerías:

Una de las actividades económicas de las comunidades aledañas al estuario del Río Balsas, es la pesquería tanto de especies dulceacuícolas como marinas pasando por las salobres, debido a que se ha relacionado a los desechos industriales con la disminución en la pesquería se compiló la siguiente información. En la parte alta del estuario se encuentran las presas Infiernillo y La Villita (José Ma. Morelos y Adolfo López Mateos, respectivamente), las condiciones de estos embalses son dulceacuícolas y las especies que se encuentran en estos cuerpos son: tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. mossambicus*, *Tilapia rendalli*), mojarra del Balsas (*Cichlasoma istlanum*), carpa común (*Cyprinus carpio*), carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*), carpa plateada

(*Hypophthalmichthys molitrix*), bagre del Balsas (*Ictalurus balsanus*), gupy (*Poediliopsis balsas*), charal (*Atherinella balsana*) y godeido (*Ilyodon whitei*). Algunas de ellas, como las tilapias fueron introducidas a los embalses desde finales de la década de los 1960's a partir de los cuales se estableció una importante pesquería que ha ocupado un lugar relevante a escala nacional. La carpa y el bagre forman también parte de la pesquería aunque sus aportes a los volúmenes de captura son notablemente inferiores en comparación con la producción de la tilapia (SEMARNAP, 2000b).

En la zona estuarina del Balsas se pesca la lisa blanca (*Mugil curema*), el robalo (*Centropomus* sp), el pargo (*Lutjanus* sp), la guavina (*Gobiomorus maculatus*), las mojarras (*Eucinostomus spp.*), el sabalote (*Chanos chanos*) y el cuatete (*Cathorops fuerthii*). En la zona netamente marina la pesca está compuesta por el huachinango (*Lutjanus argentiventris*), el robalo (*Centropomus nigrescens*), la lisa (*Mugil cephalus*), el pargo (*Lutjanus guttatus*), el mero (*Epinephelus analogus*) y la sierra (*Scomberomorus sierra*). Sin embargo, la lista de especies para todo el estuario es mayor, ya que integra aproximadamente 94 especies (CNA, 2000).

Dentro de las especies encontradas en el estuario del Río Balsas, se señalan diez especies en las que se han encontrado tres metales pesados en concentraciones por arriba de las normales (SISSA, 1994) (Tabla 18).

Tabla 18. Especies bioindicadoras en el estuario del Balsas tomado de SISSA, 1994.

Especies	Nombre común	Metales por arriba de lo normal (músculo)
<i>Cathorops fuerthii</i>	Cuatete	Zn 234.3 µg/g Cr 4.086 µg/g
<i>Mugil curema</i>	Lisa	Cr 16.34 µg/g
<i>Trachinotus paitensis</i>	Pámpano	Cr 0.317 µg/g
<i>Lutjanus guttatus</i>	Pargo	Zn 282.8 µg/g
<i>Selar crumenophthalmus</i>	Sábalo	Zn 251.6 µg/g

Valores normales en músculo: Hg: 1 µg/g; Zn: 15 µg/g.

En cuanto a los componentes dulceacuícolas del Río Balsas se encontraron especies bioindicadoras (Huidobro - Campos, 2000) (Tabla 19).

Tabla 19. Especies bioindicadoras del componentes dulceacuícola en el Río Balsas, Michoacán (Tomado de Huidobro - Campos, 2000).

Especie	Nombre común	Tipo de Bioindicador
<i>Astyanax fasciatus</i>	Pepesca	Contaminación por desechos urbanos, industriales y agrícolas.
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa común	Altas concentraciones de nitratos, fosfatos y turbidez.
<i>Oreochromis aureus</i>	Tilapia azul	Tolerantes a metales pesados.
<i>Oreochromis mossambicus</i>	Tilapia mozambica	Altas concentraciones de sulfatos y turbidez.
<i>Sicydium multipunctatum</i>	Dormilón punteado	Tolerante a metales pesados.

De las cinco especies, la carpa común y las tilapias son introducidas o especies exóticas. Entre las características de las especies dulceacuícolas introducidas es que se adaptan a una gran variedad de ambientes (incluso a aguas contaminadas); presentan gran resistencia al estrés, una alta tasa de fecundidad y rápido crecimiento así como resistencia al manejo. Tanto el pepesca (*Astyanax fasciatus*) como el dormilón punteado (*Sicydium multipunctatum*), son nativos de la cuenca del Río Balsas y son especies comunes en ambientes donde existen altas concentraciones de contaminantes tanto de origen urbano como industrial tal como metales pesados y descargas de origen agrícola (Lyons y Navarro-Pérez, 1990; Lyons *et. al.*, 1995; Soria - Barreto *et. al.*, 1996; Soto - Galera *et. al.*, 1998). Lo que confirma que la cuenca del Balsas y el estuario, presentan un deterioro ambiental causado por el desarrollo industrial, agrícola y poblacional.

El esfuerzo pesquero en el estado de Michoacán desde la construcción del puerto de Lázaro Cárdenas (1979), se muestra en la tabla 20 (SEMARNAP 1979 - 1999).

Tabla 20. ESFUERZO PESQUERO REALIZADO EN EL ESTADO DE MICHOACÁN, DURANTE 1979 - 1999 (SEMARNAP 1979- 1999).

Año	Volumen de peso vivo (toneladas)	No. Embarcaciones	Esfuerzo Pesquero (embarcación/ton)
1979	13,466	880	0.065
1980	15,456	1,235	0.079
1981	22,525	1,817	0.080
1982	30,206	2,015	0.066
1983	23,111		
1984	28,354	2,087	0.073
1985	28,969	2,087	0.072
1986	35,320	3,119	0.088
1987	44,586	3,119	0.069
1988	41,048	3,119	0.075
1989	44,481	3,114	0.070
1990	41,283	3,158	0.076
1991	43,671	4,305	0.098
1992	42,856	3,115	0.072
1993	35,577	3,118	0.087
1994	28,023	3,142	0.112
1995	30,759	5,168	0.168
1996	32,250	5,936	0.184
1997	25,762	5,182	0.201
1998	19,444	5,182	0.266
1999	18,288	5,182	0.283

Como se observa en la tabla anterior conforme los años avanzaron, el número de embarcaciones necesarias para capturar una tonelada fue aumentando; es decir el esfuerzo pesquero en esta entidad fue mayor conforme pasó el tiempo (Fig. 37).

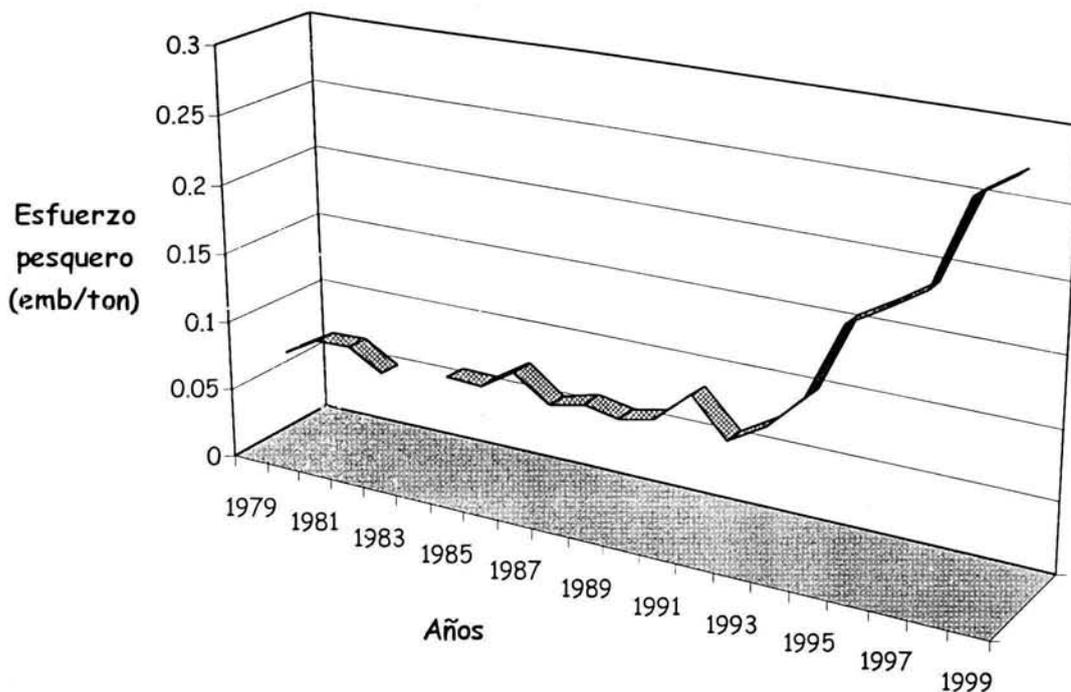


Fig. 37. Esfuerzo pesquero en el estado de Michoacán (1979 - 1999).

A! no existir datos completos y fidedignos del Puerto de Lázaro Cárdenas, se tomaron los estadísticos del estado de Michoacán, donde se refleja que el esfuerzo pesquero a crecido a través del tiempo. Lo que es importante resaltar es que en la cuenca del Río Balsas se han encontrado especies indicadoras de contaminación como se menciona anteriormente y que se ha tenido que regular la explotación de algunas especies en los embalses ubicados arriba del delta del Balsas en el Brazo Melchor Ocampo.

El aumento en el esfuerzo pesquero puede haberse visto influenciado por la contaminación química, el deterioro o pérdida ambiental, la introducción de especies y la sobrexplotación del recurso (Ross, 1997). La contaminación química se ha asociado con alta frecuencia a lesiones de hígado, reducción de la tasa de crecimiento, alteración en el sistema inmune y declinación en los sucesos reproductivos en los peces (Ross, 1997), lo cual no ha sido bien estudiado en la zona.

Con los problemas ambientales observados en el área de estudio, particularmente concentraciones de metales pesados como zinc y cadmio, que se relacionan con un incremento en la susceptibilidad a una variedad de infecciones en los peces, junto con un bajo pH que puede causar estrés e incrementar la mortalidad de peces en varios sentidos por reducción de la

eficacia de la captación de oxígeno, la pérdida excesiva de sodio y cloro y otros iones del torrente sanguíneo, deberían llevarse a cabo estudios más precisos con el fin de determinar si la contaminación está o no afectando a este componente biológico del sistema. Un bajo pH también incrementa la permeabilidad de otros iones de la sangre e incrementa el consumo de iones hidrógeno. La acidosis de la sangre causa la movilización de calcio y potasio del esqueleto y pérdida a través de las agallas. El principal contratiempo de la acidificación de las aguas es la reducción o problemas en la reproducción ya que puede inhibirse, influir en la masa corporal y en la diferenciación sexual (Ross, 1997, Zelennikov *et al.*, 1999). Con lo anteriormente expuesto, es evidente que la contaminación aunada a la sobrexplotación, está influyendo en la producción pesquera de ésta zona.

7. CONCLUSIONES

1. Los ortofosfatos se encontraron por arriba del intervalo en aguas costeras, con un nivel máximo de 145.6 μM en agosto de 1995; éste alto contenido también se presentó en estudios previos efectuados en 1990.
2. Se observaron nueve estaciones con un pH ácido (entre 1.6 y 5.3) tanto en la ruptura del yesoducto como en las estaciones cercanas a la dársena suroeste, situación que ya se presentaba desde 1990 y lo cual no ha sido revertido, hasta el momento de este estudio.
3. Las concentraciones de metales pesados en la columna de agua estuvieron dentro de los contenidos naturales y dentro de la normatividad; excepto el plomo, zinc y cadmio los cuales aún cuando estuvieron dentro de la normatividad nacional, se encontraron por arriba de los niveles en ambientes costeros, no contaminados.
4. Los organismos bentónicos, han sido los más afectados por el vertimiento de residuos industriales como la fabricación del ácido fosfórico, encontrándose 44% de las estaciones sin organismos.
5. La densidad de los organismos bentónicos disminuyó con respecto a condiciones previas al establecimiento de la planta de FERTINAL. Además, la diversidad también disminuyó lo que indica un ambiente de moderado a altamente contaminado, en el área costera adyacente de la desembocadura del Río Balsas.
6. Se registraron organismos indicadores de contaminación por enriquecimiento orgánico, pertenecientes a los géneros *Glycera*, *Polydora* y *Tellina*.
7. El análisis de distribución log - normal en logaritmo base dos de la abundancia, indico organismos que se encontraban en una fase transitoria, influenciados por la descarga de fosfoyeso y aguas residuales tanto industriales como domésticas.
8. El fitoplancton también presentó una disminución de diversidad comparada con el escenario anterior. Esta disminución indica que hay zonas moderadamente contaminadas en toda el área de estudio.

9. En el área del estuario del Río Balsas, se encontraron concentraciones de metales pesados relativamente altas en peces, que indican que hay una evidente contaminación por desechos urbanos y/o industriales y/o agrícolas.
10. De acuerdo con los datos aquí presentados, no hay suficiente evidencia de afectación de las pesquerías por la descarga del yeso en el área del Puerto de Lázaro Cárdenas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abramowitz, M. y I. Stegun. 1972. Handbook of Mathematical Functions. Dover Publications, New York.
- Alonso - Rodríguez, R., F. Páez - Osuna y R. Cortés - Altamirano. 2000. Trophic Conditions and Stoichiometric Nutrient Balance in Subtropical Waters Influenced by Municipal Sewage Effluents in Mazatlán Bay (SE gulf of California). Mar. Poll. Bull. 40 (4): 331 - 339.
- APHA, AWWA, WPCF. 1988. Standard Method for the Examination of Water and Wasterwater. 15 th Ed., Washington, 480. -
- Bates, R.L. y J.A. Jackson. 1980. Glossary of Geology. American Geological Institute. Washington, 749.
- Bizsel, N. y O. Uslu. 2000. Phosphate, nitrogen an iron enrichment in the polluted Izmir Bay, Aegean Sea. Mar. Env. Res. 49: 101 - 122.
- Botello V., A. 2001. Informe sobre el impacto de la Termoeléctrica Petacalco sobre las aguas costeras de la Bahía de Petacalco. 54.
- Campanella, L., M.E. Conti, F. Cubadda y C. Sucapane. 2001. Trace metals in seagrass, algae and molluscs from an uncontaminated area in the Mediterranean. Environmental Pollution. 111:117 - 126.
- Carranza-Edwards, A., A. Z. Márquez-García y E. A. Morales de la Garza. 1986. Estudio de sedimentos de la plataforma continental del Estado de Guerrero y su importancia dentro de los recursos minerales del mar. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México, 13(3): 241-262.
- Ceballos, G. 1993. Especies en peligro de extinción. Ciencias, No. Especial 7: 5-10.

- Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIB-NW). 1995. Evaluación del Impacto al ambiente marino por la Descarga Térmica de la CT Petacalco. Informe Final, parámetros fisicoquímicos del medio marino y Río Balsas. CFE, 69.
- CNA - IB. 2000. Informe final sobre el impacto de la Termoeléctrica Petacalco sobre las Aguas Costeras de la Bahía de Petacalco. 120.
- Collings, G.H. 1947. Commercial fertilizers: Their source and use. The Blakiston Company. Philadelphia. 181 - 217.
- CONDUX. 1984. Oceanographic and Hydrographic Field Studies on The Michoacán Coast Near Lázaro Cárdenas.
- Cressie, N. A. C. 1990. The Origins of Kriging. *Mathematical Geology* 22:239-252.
- Cressie, N. A. C. 1991. *Statistics for Spatial Data*. John Wiley and Sons, Inc. New York, 900 pp.
- De la Lanza - Espino, G. 1990. Algunos conceptos sobre hidrología y calidad del agua. 181-199 pp. *In: De la Lanza - Espino, G. y J.L. Arredondo F. (Comp). La Acuicultura en México; de los conceptos a la producción*. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F., 316.
- De la Lanza - Espino, G. 1994. Química de las Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano, 126-198. *In: De la Lanza - Espino, G. y C. Cáceres M. (Eds). 1994. Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. U.A.B.C.S. La Paz, B.C.S., 525.
- De la Lanza - Espino, G. y S. Hernández - Pulido. 1991. *Oceanografía Química. Atlas Nacional de México*. Instituto de Geografía, Univ. Nac. Autón. de México - INEGI.
- De Novo, P. Y F. Chicarro. 1957. *Diccionario de Geología y Ciencias Afines*. Tomo I. Editorial Labor. 796.
- Dean, N.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sedimentary rocks by loss on ignition comparison with other methods. *Jour. Sed. Petrol*, 44(1): 242-248.

- Ellwood, M.J. y C.M.G. Van den Berg. 2000. Zinc speciation in the Northeastern Atlantic Ocean. *Mar Chem.* 68: 295 - 306.
- Esslemont, G. 2000. Heavy metals in seawater, marine sediments and corals from Townsville section, Great Barrier Reef Marine Park, Queensland. *Marine Chemistry.* 71: 215 - 231.
- Fergusson, J.E. 1990 *The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects.* Pergamon Press. Gran Bretaña. 243 - 327.
- FERTIMEX. 1990. Estudio del impacto ocasionado sobre el ambiente marino, por la descarga del fosfoyeso producido por FERTIMEX, en Lázaro Cárdenas, Michoacán. 180.
- Folk, R.L. 1965. *Petrology of Sedimentology rocks.* Hemphill's Book Store Co. Austin, Texas, 151.
- García, E. 1983. *Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana).* 3ª Ed. Instituto de Geografía. Univ. Nac. Autón. De México. 246 pp.
- Godínez, M. 2000. *Informe de la Vegetación Acuática en la Región del Balsas.* 47.
- González - Macías, C. 1991. *Contaminación.* 393 399 pp. In: De la Lanza - Espino, G. (Compiladora) *Oceanografía de Mares Mexicanos.* AGT Editor. México. 569 pp.
- Gray, J.S. 1981 *Detecting pollution induced changes in communities using the log-normal distribution of individuals among species.* *Mar. Pollut. Bull.* 12: 173-176.
- Gustafson, A.F. 1944. *Handbook of Fertilizers: Their sources, make-up, effects and use.* Orange Judd Publishing Company, Inc. New York. 50 - 61.
- Gutiérrez - Estrada, M. 1971. *Fisiografía y sedimentología del delta del Río Balsas, Michoacán, México.* *Bol. Inst. Geol. Univ. Nac. Autón. México.* 93: 1-58.

- Huidrobo - Campos, L. 2000. Peces. 195 - 263 pp. En De la Lanza - Espino, G., S. Hernández - Pulido y J.L. Carbajal - Pérez (Compiladores). Organismos indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación.
- Instituto Mexicano del Petróleo. 1980. Informe de los trabajos realizados para el control del pozo Ixtoc I, el combate del derrame de petróleo y determinación de sus efectos sobre el ambiente marino. Programa coordinado de estudios ecológicos en la Sonda de Campeche. México 238.
- Iturbe, R. 1978. Disposición en el océano del yeso subproducto de la fabricación de ácido fosfórico (revisión bibliográfica). Informe Instituto de Ingeniería. UNAM. Proyecto 8124.
- Journel, A. G. y C. Huijbregts. 1978. Mining Geostatistics. Academic Press. Londres, 600 pp.
- Journel, A. G. 1989. Fundamentals of Geostatistics in Five Lessons. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Keen, M.A. 1971. Sea Shells of tropical West American. Stanford. 1063.
- Krebs, C.J. 1989. Ecological Methodology. Harper Collins Publisher. Washington, 654.
- Lambert, C.D.; T.S. Bianchi y P.H. Santschi. 1999. Cross - shelf changes in phytoplankton community composition in the Gulf of Mexico (Texas shelf/slope): the use of plant pigments as biomarkers. Cont. Shelf Res 19 (1): 1 - 21 pp.
- Lechuga - Devéze, C.H.; D.J. López - Cortés; J. Murguía; I. Murillo - Murillo; F. Hernández - Sandoval; J.R. Hernández - Alonso y R.A. Mendoza - Salgado. 1999. Variabilidad temporal de un área litoral sujeta a la influencia del Río Balsas. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 49: 173 - 181.
- Linder, A. 1983. Moluscos y caracoles de los mares del mundo. Omega. Barcelona, 255.

- Lyons, J. y S. Navarro - Pérez. 1990. Fisheries of the Sierra of Manantlán, Wets - Central, Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 35(1): 32 - 46.
- Lyons, J.; S. Navarro - Pérez; P.A. Cocheon, E. Santana y M. Guzmán - Arroyo. 1995. Index of biotic integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in est - Central Mexico. *Conservation Biology*. 9(3):569 - 584.
- MacFarlane, G.R.; D.J. Booth y K.R. Brown. 2000. The semaphore crab, *Heloecius cardiformis*: bio - indication potential for heavy metals in estuarine systems. *Aquat. Toxicol.* 50: 153 - 166.
- Mason, B. 1966. *Principles of Geochemistry*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 329.
- Morales de la Garza, E.A., A. Carranza-Edwards, A.Z. Márquez-García. 1988. Distribución y evolución de sedimentos del Río Balsas, Michoacán, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 15(2): 95-104.
- Moulin, R.J. 1980. Observaciones hidrológicas frente al litoral de Tamaulipas en el Golfo de México. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía. México. 47.
- Muñoz - Barbosa, A.; E.A. Gutiérrez - Galindo y G. Flores - Muñoz. 2000. *Mytilus californianus* as indicator of heavy metals on the northwest coast of Baja California, Mexico. *Mar. Env. Res.* 49: 123 - 144.
- Murgel - Branco, S. (Ed). 1984. *Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales*. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, 119.
- Ortiz G., S.M. 2001. Fauna bentónica de la Bahía de Guaymas, Sonora. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM.

- Osuna - López, J.I., F. Páez - Osuna, C. Marmolejo - Rivas y P. Ortega - Romero. 1989. Metales Pesados Disueltos y Particulados en el Puerto de Mazatlán. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autòn. México*, 16(2): 307 - 320.
- Pacheco - Sandoval., P. 1991. Oceanografía Química. 177 - 210. *In: De la Lanza - Espino., G. (Comp.) Oceanografía de Mares Mexicanos. AGT Editor. México. 569.*
- Páez - Osuna, F. 1996. Fuentes de metales en la zona costera marina. 297 - 308. *In Botello, V.A., J.L. Rojas - Galaviz, J.A. Benítez, D. Zárate - Lomelí (Eds). Golfo de México, Contaminación e Impacto ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche EPOMEX Serie Científica, 5. 666.*
- Páez - Osuna, F., D.S. Valdez - Lozano, H.M. Alexander y H. Fernández - Pérez. 1987. Trace metals in the Fluvial System of Términos Lagoon, México. *Mar. Pull. Bull.* 18(6): 294-297.
- Páez - Osuna, F. y J.I. Osuna - López. 1990a. Distribución del zinc en las diferentes fracciones químicas de los sedimentos superficiales del bajo Golfo de California. *Ciencias Marinas.* 16(2): 87 -95.
- Páez - Osuna, F. y J.I. Osuna - López. 1990b. Heavy metals distribution in geochemical fractions of surface sediments from the lower Gulf of California. *An. Inst. Cienc. Mar. y Limnol. Univ. Nal. Autòn. México.* 17(2): 287 - 289.
- Parra - García M. 1985, Impacto ambiental en el Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM, 132.
- Porta, C.J.; M. López - Acevedo R. y C. Roquero de Laburu. 1999. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ediciones Mundi - Prensa. México, 849.
- Rainbow, P.S., C. Amiard - Triquet, J.C. Amiard, B.D. Smith y W.J. Langston. 2000. Observations on the interactin of zinc and cadmium uptake rates in Crustaceans (Amphipods and Crabs) from coastal sites in UK and France

- differentially enriched with trace metals. *Aquatic Toxicology*. 50: 189 - 204.
- Ramammoorthy, S. y E. Baddaloo. 1991. Evaluation of environmental data for regulatory and impact assessment. Elsevier. Holanda, 466 pp.
- Riley, J.P. y R. Chester. 1989. Introducción a la química marina. AGT Editor. México. 459.
- Romero, L., F., D. Cobo P., M. Villarroel M., R. Morales M., C. Rangel D., L. Treviño A., M. Saavedra, F. Suzán C., M.T. Orta L., R. Navarro H., R. Manzano C., R. Iturbe A. y S. F. Meza R. 1979. Disposición en el océano del yeso subproducto de la fabricación de ácido fosfórico (Vol I-IV). Instituto de Ingeniería, Univ. Nal. Autón. México, Proyectos 8124, 1-4. y 9072, I-III.
- Romero, L., F., D. Cobo P., M. Villarroel M., R. Morales M., C. Rangel D., L. Treviño A., M. Saavedra, F. Suzán C., M.T. Orta L., R. Navarro H., R. Manzano C., R. Iturbe A. y S. F. Meza R. 1980. Disposición en el océano del yeso subproducto de la fabricación de ácido fosfórico (Vol I-III). Instituto de Ingeniería, Univ. Nal. Autón. México, Proyecto 9072.
- Ross, M.R. 1997. Fisheries Conservation and Management. Prentice - Hall. New Jersey. 374 pp.
- Salazar - Vallejo, S.I. 1991. Contaminación Marina. CIQRO, Fondo de Publicaciones y Ediciones. Quintana Roo, 193.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). 1989. Criterios Ecológico de la Calidad del Agua. *Gaceta Ecológica*, 1 (2).
- Secretaría de Marina. 1978. Estudio físico - químico del Golfo de Tehuantepec. Dirección General de Oceanografía. Tomo II. 73.
- Secretaría de Marina. 1980. Contribución al conocimiento de las características fisicoquímicas de las aguas del Caribe Mexicano. *Química del Océano*. 95.
- Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA). 1982. Escenario ambiental del Puerto Industrial de Lázaro Cárdenas, Michoacán. 83 pp.

- SEMARNAP. 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación 1 de junio de 1997.
- SEMARNAP. 2000b. Norma Oficial Mexicana NOM-027-PESC-2000, pesca responsable en la presa Adolfo López Mateos El Infiernillo, Michoacán y Guerrero. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros. Diario Oficial de la Federación Martes 31 de octubre de 2000.
- Servicio Meteorológico Nacional. Lámina de Lluvia Normal Mensual y Anual. www.smn.cna.gob.mx/productos/normales/precme.html.
- Shepard, F.P. 1973. *Submarine Geology*. 3^o Edición. Harper & Row, Publishers. New York. 517.
- Shumilin, E.; F. Páez - Osuna; C. Green - Ruiz; D. Sapozhnikovs; G.D. Rodríguez - Meza y L. Godínez - Orta. 2001. Arsenic, Antimony, Selenium and other trace elements in sediments of the La Paz Lagoon, Peninsula of Baja California, Mexico. *Mar. Poll. Bull.* 42(3): 174 - 178.
- SISSA. 1994. Estudio de evaluación de daños al ambiente en la región de Lázaro Cárdenas, Michoacán. 220.
- Solis - Weiss. 1982. Moluscos en Marsella Francia, favorecidos por el enriquecimiento orgánico entre ellos *Tellina*.
- Soria - Barreto M.; L. Alcántara - Soria y E. Soto- Galera. 1996. Ictiofauna del Estado de Hidalgo. *Zoología Informa.* 33:55 - 78.
- Soto - Galero, E.; E. Díaz- Pardo, E. López - López y J. Lyons. 1998. Aquatic ecosystem health and management (en prensa).
- Soto - Jiménez, M. y F. Páez - Osuna. 2001a. Distribution and normalization of heavy metal concentrations in mangrove and Lagoon Sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California). *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 53: 259 - 274.

- Soto - Jiménez, M.; F. Páez - Osuna y F. Morales - Hernández. 2001b. Selected trace metals in oyster (*Crassostrea iridescens*) and sediments from the discharge zone of the submarine sewage outfall in Mazatlán bay (Southeast Gulf of California): chemical fractions and bioaccumulation factors. *Environmental Pollution*. 114: 357 - 370.
- Strickland, J.D. y Parsons. 1972. *A practical Handbook of Seawater Analysis*. Minister of Supply and Services. Ottawa, Canadá, 310.
- Svedrup, Jhonson y Fleming. 1970. *The Oceans: their physics, chemistry and general biology*. Pentice Hall, Inc.
- The Association of Florida Phosphate Chemist. 1979. *Phosphate rock and data sheets*. Barlow Florida. 125.
- Thorne - Miller, B. y J. Catena. 1991. *The Living Ocean. Understanding and Protecting Marine Biodiversity*. Island Press. Washington, 180.
- Torres B.; R. y P.J. Gómez F. 1991. Oxígeno. 323 - 334. In: De la Lanza - Espino, G. (Compiladora). *Oceanografía de Mares Mexicanos*. AGT Editor. México. 569.
- Vázquez, G.F.; V.K. Sharma; V.R. Magallanes y A.J. Marmolejo. 1999. Heavy Metals in a Coastal Lagoon of the Gulf of Mexico. *Mar. Poll. Bull.* 38(6): 479 - 485.
- Vázquez, G.F.; M.C. Reyes; G. Fernández, J.E.C. Aguayo y V.K. Sharma (en prensa). Contamination in marine turtle (*Dermochelys coriacea*) eggs shells of Playon de Mexiquillo, Michoacán, México. *Mar. Poll. Bull.*
- Villaescusa - Celaya, J.A.; E.A. Gutiérrez - Galindo y G. Flores - Muñoz. 2000. Heavy metals in the fine fraction of coastal sediments from Baja California (Mexico) and California (USA). *Env. Poll.* 108: 453 - 462.
- Warwick, R.M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, 92: 557 - 562.

Weihaupt, J.G. 1984. Exploración de los Océanos. Introducción a la Oceanografía. C.E.C.S.A. México, 640.

William, L.G. 1964. Possible relationships between plankton - diatoms species number and water - quality estimates. Ecology. 45(4): 809 - 823.

Yeats, P.A. y J.A. Campbell. 1983. Nickel, copper, cadmium and zinc in the Northwest Atlantic Ocean. Mar Chem. 12:43 - 58.

Zirino, A. y S. Yamamoto. 1972. A pH - dependent model for the chemical speciation of copper, zinc, cadmium and lead in seawater. Limnol. Oceanogr. V. 17 (5): 661 - 671.

Zelennikov, O.V.; M.V. Mosyagina y K.E. Fedorov. 1999. Oogenesis inhibition, plasma steroid levels, and morphometric changes in the hypophysis in Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedti* Brandt) exposed to low environmental pH. Aquat. Toxicol. 46: 33 - 42.

ANEXO 1

Organismos encontrados en la zona de Lázaro Cárdenas, Michoacán, durante los meses de agosto, noviembre y diciembre de 1978 y marzo, junio y agosto de 1979 (Romero *et al.*, 1980).

ESTACIÓN	GENERO/ESPECIE	No. DE ORGANISMOS
AGOSTO 1978	POLIQUETOS	
E-3	<i>Glycera sp.</i>	11
	<i>Lumbrinereis sp.</i>	11
ESTACIÓN	<i>Nephtys</i>	11
	<i>Nothria sp.</i>	4
	<i>Sige sp.</i>	29
	Poliqueto A.	11
	Poliqueto B.	11
E-4	<i>Nephtys sp.</i>	9
	<i>Sige sp.</i>	6
AGOSTO 1978	MOLUSCOS	
E-3	<i>Calipterea sp.</i>	4
	<i>Corbula sp.</i>	4
	<i>Lucina sp.</i>	15
	<i>Nassarius sp.</i>	7
E-4	<i>Tellina sp.</i>	6
	<i>Nassarius sp.</i>	3
	<i>Turbonilla sp.</i>	3
AGOSTO 1978	CRUSTÁCEOS	
E-3	Decápodo juvenil	7
	Larva de crustáceos	7
E-4	Amphipoda	16
AGOSTO 1978	FORAMINÍFEROS	
E-3	<i>Textularia sp.</i>	33
AGOSTO 1978	EQUINODERMOS	
E-4	Ofiuroidea	9
NOVIEMBRE 1978	POLIQUETOS	
E-1	<i>Glycera sp.</i>	1
	<i>Nephtys sp.</i>	7
	Poliqueto C.	5
E-2	<i>Sige sp.</i>	6
	Poliqueto C.	3
E-3	<i>Sige sp.</i>	4
	Poliqueto A.	11
E-4	Poliqueto B.	6
NOVIEMBRE 1978	MOLUSCOS	

E-1	<i>Anadara sp.</i>	2
	<i>Crassinella sp.</i>	9
	<i>Lucina sp.</i>	16
	<i>Nucula sp.</i>	7
	<i>Pitar sp.</i>	2
	<i>Tagelus sp.</i>	5
	<i>Crepidula sp.</i>	2
E-2	<i>Nucula sp.</i>	3
	<i>Tagelus sp.</i>	18
	<i>Natica sp.</i>	6
E-3	<i>Tagelus sp.</i>	9
E-4	<i>Tellina sp.</i>	4
	<i>Oliva sp.</i>	2
E-6	<i>Anadara sp.</i>	3
	<i>Lucina sp.</i>	3
	<i>Oliva sp.</i>	37
NOVIEMBRE 1978	CRUSTÁCEOS	
E-1	Amphipoda	5
	Decápodo juvenil	2
E-2	Amphipoda	6
	Decápodo juvenil	3
E-3	Amphipoda	2
	Decápodo juvenil	4
E-4	Amphipoda	8
	Decápodo juvenil	9
E-5	Amphipoda	10
	Isópoda	7
	Ostracoda	7
E-6	Amphipoda	8
	Tanaidacea	5
DICIEMBRE 1978	POLIQUETOS	
E-3	<i>Glycera sp.</i>	5
	<i>Stenelais sp.</i>	2
DICIEMBRE 1978	CRUSTÁCEOS	
E-3	Amphipoda	2
	Decápodo juvenil	3
DICIEMBRE 1978	EQUINODERMOS	
E-3	Equinoidea	2
MARZO 1979	POLIQUETOS	
E-3	<i>Nephtys sp.</i>	2
	<i>Sige sp.</i>	5
	Poliqueto C.	5
E-4	<i>Glycera sp.</i>	7
	Sabellidae	2
	<i>Sige sp.</i>	7

	Poliqueto C.	4
E-6	<i>Sthenelais sp.</i>	5
MARZO 1979	MOLUSCOS	
E-1	<i>Lucina sp.</i>	2
	<i>Nucula sp.</i>	2
	<i>Nassarius sp.</i>	5
E-2	<i>Acteocina sp.</i>	3
	<i>Balcis sp.</i>	3
	<i>Caecum sp.</i>	3
E-3	<i>Caecum sp.</i>	9
	<i>Nerita sp.</i>	2
	<i>Oliva sp.</i>	7
E-4	<i>Acteocina sp.</i>	3
	<i>Caecum sp.</i>	5
E-5	<i>Crepidula sp.</i>	8
E-A	<i>Turbonilla sp.</i>	6
E-B	<i>Turbonilla sp.</i>	2
MARZO 1979	CRUSTÁCEOS	
E-3	<i>Emerita sp.</i>	2
E-4	Decápodo juvenil	4
	Isópoda	11
E-6	Amphipoda	8
	Cangrejo juvenil	3
	Cumacea	8
	Tanaidacea	5
MARZO 1979	EQUINODERMOS	
E-4	Ofiuroides	4
JUNIO 1979	POLÍQUETOS	
E-1	<i>Glycinde sp.</i>	3
	<i>Lumbrinereis sp.</i>	1
	<i>Megalona sp.</i>	2
	<i>Nephtys sp.</i>	3
	<i>Nothria sp.</i>	4
	Sabellidae	2
	<i>Scoloplos sp.</i>	4
	<i>Sige sp.</i>	2
	<i>Sthenelais sp.</i>	3
	Poliqueto A.	1
	Poliqueto B.	1
	Poliqueto C.	2
E-2	<i>Glycinde sp.</i>	9
	<i>Lumbrinereis sp.</i>	12
	<i>Nephtys sp.</i>	2
	<i>Nothria sp.</i>	2
	Phyllodocidae	2
	<i>Stenelais sp.</i>	2
	Poliqueto A.	3
	Poliqueto B.	1

	Poliqueto C.	3
	Poliqueto D.	1
E-3	<i>Glycinde sp.</i>	5
	<i>Lumbrinereis sp.</i>	3
	<i>Nephtys sp.</i>	2
	<i>Scoloplos sp.</i>	3
	<i>Sige sp.</i>	2
	<i>Sthenelais sp.</i>	4
	Poliqueto A.	1
	Poliqueto B.	2
	Poliqueto C.	1
	Poliqueto D.	2
E-4	<i>Glycinde sp.</i>	1
	<i>Nephtys sp.</i>	4
	<i>Nothria sp.</i>	2
	<i>Scoloplos sp.</i>	2
	<i>Sige sp.</i>	2
	<i>Sthenelais sp.</i>	2
	Poliqueto C.	3
E-5	<i>Scoloplos sp.</i>	2
	<i>Sige sp.</i>	2
E-6	<i>Glycinde sp.</i>	1
	<i>Lumbrinereis sp.</i>	1
	<i>Nothria sp.</i>	1
	Phyllodocidae	2
	<i>Scoloplos sp.</i>	1
	<i>Sige sp.</i>	1
E-A	<i>Nephtys sp.</i>	2
	Sabellidae	1
	<i>Scoloplos sp.</i>	2
	<i>Sige sp.</i>	3
	Poliqueto A.	2
	Poliqueto B.	2
	Poliqueto D.	6
E-B	<i>Nephtys sp.</i>	3
	<i>Scoloplos sp.</i>	5
	<i>Sige sp.</i>	6
	<i>Sthenelais sp.</i>	2
	Poliqueto A.	2
	Poliqueto B.	2
	Poliqueto C.	3
JUNIO 1979	MOLUSCOS	
E-1	<i>Lucina sp.</i>	3
	<i>Nucula sp.</i>	3
	<i>Acteocina sp.</i>	1
	<i>Nassarius sp.</i>	2
	<i>Oliva sp.</i>	1
E-2	<i>Anadara sp.</i>	1

	<i>Crassinella sp.</i>	2
	<i>Lucina sp.</i>	6
	<i>Nucula sp.</i>	7
	<i>Tellina sp.</i>	1
	<i>Balcis sp.</i>	5
	<i>Nassarius sp.</i>	7
	<i>Natica sp.</i>	1
E-3	<i>Nucula sp.</i>	4
	<i>Acteocina sp.</i>	3
	<i>Balcis sp.</i>	1
	<i>Epitanium sp.</i>	2
	<i>Nassarius sp.</i>	2
	<i>Oliva sp.</i>	5
E-4	<i>Corbula sp.</i>	1
	<i>Crassinella sp.</i>	1
	<i>Lucina sp.</i>	2
	<i>Nucula sp.</i>	1
	<i>Acteocina sp.</i>	4
	<i>Oliva sp.</i>	2
	<i>Terebra sp.</i>	4
E-5	<i>Tellina sp.</i>	1
	<i>Caecum sp.</i>	1
E-6	<i>Tellina sp.</i>	7
	<i>Balcis sp.</i>	1
	<i>Oliva sp.</i>	13
	<i>Terebra sp.</i>	1
E-A	<i>Corbula sp.</i>	1
	<i>Tellina sp.</i>	1
E-B	<i>Anadara sp.</i>	1
	<i>Corbula sp.</i>	1
	<i>Crassinella sp.</i>	4
	<i>Lucina sp.</i>	6
	<i>Tellina sp.</i>	2
	<i>Acteocina sp.</i>	14
	<i>Balcis sp.</i>	2
	<i>Cecum sp.</i>	6
	<i>Nassarius sp.</i>	4
	<i>Natica sp.</i>	2
	<i>Oliva sp.</i>	1
	<i>Terebra sp.</i>	3
	<i>Turbonilla sp.</i>	2
JUNIO 1979	CRUSTÁCEOS	
E-1	Amphipoda	1
	Decápodo juvenil	1
E-2	Amphipoda	7
	Cumacea	3
	Decápodo juvenil	6
	Isópoda	2

	Ostracoda	7
E-3	Amphipoda	3
	Cangrejo juvenil	1
	Decápodo juvenil	1
E-4	Amphipoda	11
	Decápodo juvenil	2
	Isópoda	1
	Ostracoda	1
	Tanaidacea	3
E-5	Amphipoda	40
	Cangrejo juvenil	1
	Tanaidacea	2
E-6	Amphipoda	17
	Cangrejo juvenil	1
	Decápodo juvenil	1
	Isópoda	1
	Tanaidacea	6
E-A	Amphipoda	3
	Tanaidacea	2
E-B	Amphipoda	8
	Cumacea	3
	Decápodo juvenil	1
	Isópoda	1
	Tanaidacea	3
JUNIO 1979	EQUINODERMOS	
E-1	Ofiuroides	1
E-2	Equinoidea	1
E-3	Equinoidea	2
E-4	Ofiuroides	6
E-5	Equinoidea	1
E-6	Ofiuroides	4
AGOSTO 1979	POLIQUETOS	
E-1	<i>Megalona sp.</i>	1
	<i>Sthenelais sp.</i>	2
	Poliqueto D.	2
	Poliqueto E.	2
	Poliqueto F.	1
	Poliqueto G.	1
E-2	<i>Arabella sp.</i>	1
	Cirritulidae	2
	<i>Glycera sp.</i>	3
	<i>Glycinde sp.</i>	8
	<i>Lumbrinereis sp.</i>	2
	<i>Megalona sp.</i>	5
	<i>Nephtys sp.</i>	2
	<i>Nothria sp.</i>	1
	Phyllodocidae	1
	<i>Sige sp.</i>	2

E-3	<i>Glycera sp.</i>	1
	<i>Lumbrinereis sp.</i>	1
	<i>Nephtys sp.</i>	1
	Poliqueto A.	1
E-4	<i>Glycera sp.</i>	5
	<i>Glycinde sp.</i>	1
	<i>Sthenelais sp.</i>	1
E-5	<i>Glycera sp.</i>	1
	<i>Nephtys sp.</i>	3
	Phyllodocidae	2
	<i>Scoloplos sp.</i>	3
	<i>Sthenelais sp.</i>	2
	Poliqueto A.	1
	Poliqueto B.	2
	Poliqueto C.	1
E-6	<i>Nephtys sp.</i>	1
	<i>Scoloplos sp.</i>	1
	<i>Sthenelais sp.</i>	4
	Poliqueto A.	2
E-A	Cirritulidae	15
	<i>Glycera sp.</i>	1
	<i>Glycinde</i>	1
	<i>Lumbrinereis sp.</i>	2
	<i>Nephtys sp.</i>	2
	<i>Scoloplos sp.</i>	1
	<i>Sige sp.</i>	2
	<i>Sthenelais sp.</i>	1
	Poliqueto A.	1
	Poliqueto B.	2
E-B	<i>Glycera sp.</i>	2
E-C	<i>Glycera sp.</i>	1
	<i>Lumbrinereis sp.</i>	1
AGOSTO 1979	MOLUSCOS	
E-1	<i>Divalinga sp.</i>	1
	<i>Nucula sp.</i>	6
	<i>Tellina sp.</i>	1
	<i>Acteocina sp.</i>	1
	<i>Epitanium sp.</i>	1
	<i>Natica sp.</i>	4
	<i>Terebra sp.</i>	1
E-2	<i>Divalinga sp.</i>	1
	<i>Lucina sp.</i>	2
	<i>Nucula sp.</i>	2
	<i>Pitar sp.</i>	1
	<i>Tellina sp.</i>	3
	<i>Acteocina sp.</i>	2
	<i>Balcis sp.</i>	1
	<i>Polinices sp.</i>	1

E-3	<i>Lucina sp.</i>	2
E-4	<i>Lucina sp.</i>	2
	<i>Acteocina sp.</i>	2
	<i>Balcis sp.</i>	1
	<i>Caecum sp.</i>	1
	<i>Polinices sp.</i>	1
E-5	<i>Divalinga sp.</i>	2
	<i>Lucina sp.</i>	1
	<i>Pitar sp.</i>	1
	<i>Tellina sp.</i>	1
	<i>Oliva sp.</i>	2
E-6	<i>Anadara sp.</i>	1
	<i>Corbula sp.</i>	4
	<i>Lucina sp.</i>	2
	<i>Tellina sp.</i>	2
	<i>Caecum sp.</i>	1
	<i>Oliva sp.</i>	6
	<i>Terebra sp.</i>	2
E-A	<i>Anadara sp.</i>	1
	<i>Acteocina sp.</i>	8
	<i>Natica sp.</i>	1
	<i>Oliva sp.</i>	1
	<i>Turbonilla sp.</i>	2
E-B	<i>Corbula sp.</i>	3
	<i>Crassinella sp.</i>	9
	<i>Divalinga sp.</i>	3
	<i>Caecum sp.</i>	23
	<i>Nerita sp.</i>	1
	<i>Oliva sp.</i>	6
	<i>Terebra sp.</i>	3
	<i>Turbonilla sp.</i>	2
E-C	<i>Polinices sp.</i>	1
	<i>Terebra sp.</i>	5
AGOSTO 1979	CRUSTÁCEOS	
E-1	Amphipoda	1
E-2	Decápodo juvenil	1
	Tanaidacea	1
E-3	Amphipoda	9
	Isópoda	4
	Tanaidacea	3
E-4	Amphipoda	35
	Isópoda	1
	Tanaidacea	3
E-5	Amphipoda	22
	Cangrejo juvenil	1
	Decápodo juvenil	1
	Tanaidacea	8
E-B	Amphipoda	1

	Tanaidacea	1
	Decápodo juvenil	1
E-C	Amphipoda	1
	Ostracoda	1
AGOSTO 1979	EQUINODERMOS	
E-2	Ofiuroidea	2
E-4	Ofiuroidea	4
AGOSTO 1979	ANTHOZOARIOS	
E-6	Anémonas	3
	<i>Reinilla reniformis</i>	14

ANEXO 2

Organismos encontrados en la zona de Lázaro Cárdenas, Michoacán en mayo de 1990
(FERTIMEX, 1990)

ESTACIÓN	GÉNERO/ESPECIE	No. ORGANISMOS
ANÉLIDOS		
1	<i>Polydora sp.</i>	25
2	<i>Clymenella sp.</i>	4
	<i>Nereis sp.</i>	2
	Fam Arenicolidae	8
3	<i>Clymenella sp.</i>	2
	<i>Nereis sp.</i>	1
	<i>Polydora sp.</i>	306
	Fam Arenicolidae	2
4	<i>Clymenella sp.</i>	4
	<i>Nereis sp.</i>	4
	<i>Polydora sp.</i>	6
	Fam. Arenicolidae	12
CRUSTÁCEOS		
2	<i>Psammonyx sp.</i>	19
	<i>Penaeus vannamei</i>	1
3	<i>Psammonyx sp.</i>	18
MOLUSCOS		
2	<i>Anadara sp.</i>	1
	<i>Olivella sp.</i>	2
	<i>Tellina virgo</i>	3
	<i>Williamis sp.</i>	1
4	<i>Littorina modesta</i>	1
	<i>Littorina pullata</i>	1
	<i>Nucula sp</i>	1
	<i>Oliva sp.</i>	4
	<i>Tellina virgo</i>	9
	<i>Terebra corintoensis</i>	3
	<i>Terebra glauca</i>	7
	<i>T. larvaeformis</i>	3
<i>Williamis sp.</i>	8	