

24
31



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

*ANALISIS HIDROLOGICO Y DE CONTAMINACION
EN BAHIA ENSENADA DEL PABELLON-ALTATA,
SINALOA*

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A :

JUAN CONDE GOMEZ



MEXICO, D. F.

1991



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 está 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.

El presente trabajo forma parte de un proyecto denominado "Ecología de manglares, productividad acuática y perfil de comunidades en ecosistemas lagunares estuarinos de la costa noroccidental de Mexico", financiado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico. El análisis hidrológico y de contaminación en Bahía Ensenada del Pabellón-Altata, se incluye como subproyecto de Biogeoquímica a cargo de la Dra. Guadalupe de la Lanza Espino, investigadora titular del Instituto de Biología de la UNAM.

DEDICO ESTA TESIS:

A la persona que amo y admiro profundamente, que con su ternura y comprensión me ha impulsado para lograr una de mis metas trazadas, gracias por haberte conocido.

A MI MAMI
CONSUELO

A quién hoy no esta físicamente, pero lo esta en mi corazón, en mis pensamientos, he sido afortunado en tener a dos bellas mujeres, a tí y a tu hija.

A MI ABUELITA
PANCHITA

A quién con su cariño, apoyo y consejos me ayuda a llegar a mis metas.

A MI PAPA
JUAN

A dos niñas con quién compartí la infancia, y ahora son hermosas mujeres, donde nuestro lema nunca ha sido la paz, pero si el amor y la unión.

A MIS HERMANAS
RITA Y PATY

A dos lindas criaturas que con su energía, simpatía y sus diabluras hacen los días mas felices.

A MIS SOBRINOS
LUIS Y FABIOLA

A quién me brinda su apoyo y confianza en todo momento
A MIS TIOS

TERE, YOYA, LUCHA, LELA, CARMEN, MARGARITA
SERGIO, PEDRO, ANGEL Y POLO.

A mis compañeros y amigos:
NERIDA, CUDELIA, ROSALINDA, VERONICA, DIANA, HEIDI.
ROBERTO H., FERNANDO, SAMUEL, HUMBERTO, MARGARITA
SANDRA, LUIS MIGUEL SRA. MARICRUZ YURIRI
ELISEO, JULIO, ESTEBAN, Y AQUELLOS A QUIEN
MI MEMORIA NO LOS RECUERDA.

A las personas con las que te une una gran amistad y
que perdura por siempre A MIS CUATES
MARTIN Y WALTER

A toda mi familia.
FAM. CONDE, FAM. GOMEZ, SHEILA, PANCHO, DIANA
A MIS CUÑADOS.

A tí, por todos esos bellos días
que he disfrutado contigo,
compartiendo éxitos y fracasos.

Hubiera alcanzado esta meta sólo,
sin embargo, no logro imaginarme
haciendolo.

Que día tras día se fortalezca
nuestra relación.

A MI AMIGA Y COMPAÑERA

OLI
(CERVICÓN)

Agradezco enormemente a la Dra. Guadalupe de la Lanza Espino por haberme abierto las puertas de su laboratorio y la asesoría de este trabajo.

Agradezco también al técnico Salvador Hernández Pulido por enseñarme con paciencia las técnicas requeridas, y su colaboración en este trabajo.

A mis asesores:

Dra. Guadalupe de la Lanza Espino
M. en C. Maria Luisa Andrea Raz-Gúzman Macbeth
M. en C. Alberto Jesus Sánchez
Dra. Maria Ana Fernandez
M. en C. Alfonso Guillermo Banderas Tarabay

Gracias por sus útiles consejos y observaciones

Agradezco a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

Dra. Ana Flisser
Violeta Aguilar
Cooperativa de las Puentes, Sinaloa

Agradezco a las siguientes Instituciones por la información prestada para el siguiente trabajo.

SEDUE, Sinaloa
SARH, Sinaloa

RESUMEN

México carece de una adecuada planeación urbana y el crecimiento poblacional acelerado han provocado que los cuerpos de agua sean utilizados como fuentes de agua y receptáculos de desechos (domésticos, industriales y agrícolas). Tal es el caso, de Ensenada del Pabellón, el cual forma parte de un sistema lagunar junto con la Bahía de Altata ubicado en el noroeste de Sinaloa, donde se localiza el Distrito de Riego No. 10 que por el área de cultivo (siembra y cosecha) se encuentra entre los primeros a nivel nacional y cuenta con tres ingenios azucareros. Tomando en cuenta lo anterior, el objetivo de esta tesis es evaluar las condiciones hidrológicas (calidad del agua) que presenta el citado sistema lagunar, estimar la exportación de nitratos, nitritos, amonio, ortofosfatos y material orgánico al medio marino. Se registró una fuerte disminución en la salinidad (4 o/oo) en la época de sequía cerca de los drenes, e inicio de la bajamar, resultado de las continuas actividades agroindustriales; los ortofosfatos en el periodo de sequía registraron altas concentraciones a lo largo de la laguna (9.4 a 28 $\mu\text{g at/l}$), reflejando que el sistema se ve sometido temporalmente a una eutroficación; en nitritos un contenido alto de 6 $\mu\text{g at/l}$, perceptible en una localidad asociada a descargas, consecuencia de las citadas acciones.

La exportación fue de materia orgánica (31%), ortofosfatos (1.8-25%), amonio (79%), nitratos (27-74%), y nitritos (43%) registrándose en dos ciclos de marea de 8 h con concentraciones y periodos temporalmente variables.

INDICE

	Página
INTRODUCCION Y OBJETIVOS.....	1
ANTECEDENTES.....	4
AREA DE ESTUDIO.....	6
MATERIAL Y METODO.....	9
RESULTADOS Y DISCUSION.....	12
ENSENADA DEL PABELLON	
TEMPERATURA.....	12
SALINIDAD.....	12
VISIBILIDAD.....	16
OXIGENO DISUELTO.....	16
AMONIO.....	20
NITRATOS.....	22
NITRITOS.....	22
ORTOFOSFATOS.....	23
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO.....	27
ALTATA	
CONDICIONES FISICOQUIMICAS.....	29
CICLO MAREAL.....	31
CONCLUSIONES.....	36
BIBLIOGRAFIA.....	38

INTRODUCCION

Los ambientes estuarinos y lagunares están considerados entre los ecosistemas más productivos del mundo, y su alta productividad depende, en buena parte, de la producción primaria de la vegetación vascular circundante y macroalgas, y en menor grado por fitoplancton (Arenas-Fuentes, 1979). Mc Hugh (1976) señala que cerca del 70% de la pesca mundial se basa en organismos estuarino-dependientes y la tasa sostenida de productividad es considerada como una de las más altas del mundo (Odum, 1971). Dicha producción está mantenida por los nutrientes, como las sales de nitrógeno y fósforo que presentan en estos ambientes una alta dinámica de disponibilidad y consumo.

Las fuentes naturales de nitrógeno y fósforo de estuarios y lagunas costeras son la precipitación, ríos, escorrentías menores, erosión de rocas, lixiviación de suelos, vientos y mar, entre otros (Day, 1981).

Actualmente, las actividades antropogénicas son una fuente importante de nitrógeno y fósforo en algunos sistemas acuáticos, acarreados en descargas de aguas residuales. Los incrementos en la producción de desechos, fertilización agrícola y urbanización han acelerado el aporte de nutrientes en estuarios a partir de las dos décadas pasadas (Ryther y Dunstan 1971; Jaworski, 1981 y Nixon, 1981).

El contenido de nutrientes en lagunas y estuarios bajo

condiciones normales más el incremento experimentado en tiempos actuales puede ser exportado al medio marino. Contreras (1983) refiere que en el balance de salida-entrada de nutrientes entre la zona estuarina-lagunar de Tuxpan-Tampamachoco, Veracruz con base en la influencia mareal hay una mayor salida que entrada. La exportación por parte de las lagunas no es únicamente de nutrientes. Arenas-Fuentes (1979) reportó que la Laguna Huizache-Caimanero, Sinaloa exporta materiales orgánicos de 0.2 a 0.5 mg C/m³ netos en cada reflujo.

México tiene un crecimiento poblacional acelerado que trae como consecuencia el incremento en asentamientos humanos y desarrollo industrial y agrícola, establecidos en gran parte en los márgenes de los lagos, ríos, sistemas lagunares, estuarios y bahías, que son explotados por sus recursos, utilizados como fuentes de agua y como receptáculos de desechos de toda naturaleza, alterando las condiciones naturales. Ejemplo de esto, son los sistemas lagunares de Sinaloa que se han visto afectados por las actividades humanas, dadas las descargas agroindustriales, sin un tratamiento previo (González-Farías et al., 1988). Por otra parte se realiza una explotación irracional de los recursos pesqueros como el camarón. Sin embargo, se cuentan con pocos estudios hidrológicos (físicoquímicos) que permitan evaluar en que medida éstos han sido alterados.

En el noroeste de Sinaloa se encuentra el sistema lagunar Ensenada del Pabellón-Altata donde se ubican importantes agroindustrias, como el Distrito de Riego No. 10 y tres ingenios azucareros. En las actividades de producción se emplean grandes cantidades de amoniaco anhidro, ácido fosfórico y fertilizantes sólidos (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1983) que pueden incrementar sensiblemente los nutrientes nitrogenados y fosforados, además de materiales orgánicos. De acuerdo con lo antes expuesto, el presente estudio tiene los siguientes objetivos:

- determinar las condiciones hidrológicas (temperatura, salinidad, transparencia, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, nutrientes NH_4^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}),
- analizar la hidrología y determinar el grado de incremento de los nutrientes resultado de la agroindustria y su relación con la geomorfología de la laguna, y
- estimar la exportación de nutrientes y material orgánico al medio marino adyacente, a través de ciclos mareales.

ANTECEDENTES

Los estudios realizados en el sistema Lagunar Ensenada del Pabellón-Altata han sido aislados y en general se enfocan a la calidad del agua, sin considerar un análisis previo de sus condiciones hidrológicas normales.

El Departamento de Ingeniería Hidráulica Pesquera de la antigua Secretaría de Industria y Comercio en los años de 1969-70 efectuó estudios de dinámica física con el fin de determinar el comportamiento de La Boca de la Tonina, que comunica a La Bahía de Altata con el mar, así como un levantamiento batimétrico del sistema.

La Universidad Autónoma de Sinaloa estimó, de octubre de 1971 a abril de 1972, la calidad ambiental acuática a través de una serie de estudios tomando como base parámetros de reglamentación de aguas.

Peraza-Vizcarra (1973) efectuó una caracterización del sistema de acuerdo con la distribución de los sedimentos y cuantificó las variables hidrológicas de salinidad y temperatura. Se distinguieron cuatro grupos de sedimentos en el sistema, clasificándolo como una albufera salobre, con profundidad media de 5 m, una marcada distribución de la salinidad con niveles altos en La Boca de la Tonina y en La Bahía Altata (mayores que 30 o/oo) y los más bajos en Ensenada del Pabellón y en general, temperaturas menores en La Boca de la Tonina y Bahía de Altata. Las aguas son generalmente turbias con visibilidad de 0.50 m (basado en los valores dados por Gómez Aguirre, 1965).

González-Farías et al. (1988) detectaron niveles altos de PO₄ coliformes y plaguicidas organoclorados tanto en sedimentos como en organismos en Ensenada del Pabellón-Altata, y las lagunas de Caimanero, Bataoto y Chiricahueto.

ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de Ensenada del Pabellón-Altata es un sistema lagunar localizado en la parte central del litoral de Sinaloa, a 45 Km al suroeste de la ciudad de Culiacán, entre los 24°19' y 24°40' de latitud norte y los 107°28' y 107°58' de longitud oeste, en los Municipios de Culiacán y Navolato (Fig.1).

El sistema consiste de dos lagunas que se comunican entre sí a la altura de la desembocadura del Río Culiacán. Tiene una superficie aproximada de 354 Km², de los cuales 278 Km² son de Ensenada del Pabellón y 76 Km² de Bahía Altata (Departamento de Ingeniería Hidráulica Pesquera, 1969-70).

El clima de la región es BSw, semiárido con régimen de lluvias de verano con una precipitación anual promedio de 472 mm, presentándose la mayor durante julio a agosto. La temperatura media anual es de 23.9 °C con las máximas en agosto y septiembre, y las mínimas en enero. Los vientos que predominan son del W y WNW durante el invierno, y del W y WSW durante el verano (García, 1973).

El sistema lagunar mantiene comunicación con el mar por medio de la Boca de la Tonina y la Boca del Gavilán. La primera se ubica en medio de las dos lagunas, con una profundidad que no sobrepasa los 20 m. La segunda se encuentra frente al Estero Paredones perteneciente a Bahía de Altata, con una profundidad de 1 m y ancho de 60 m.

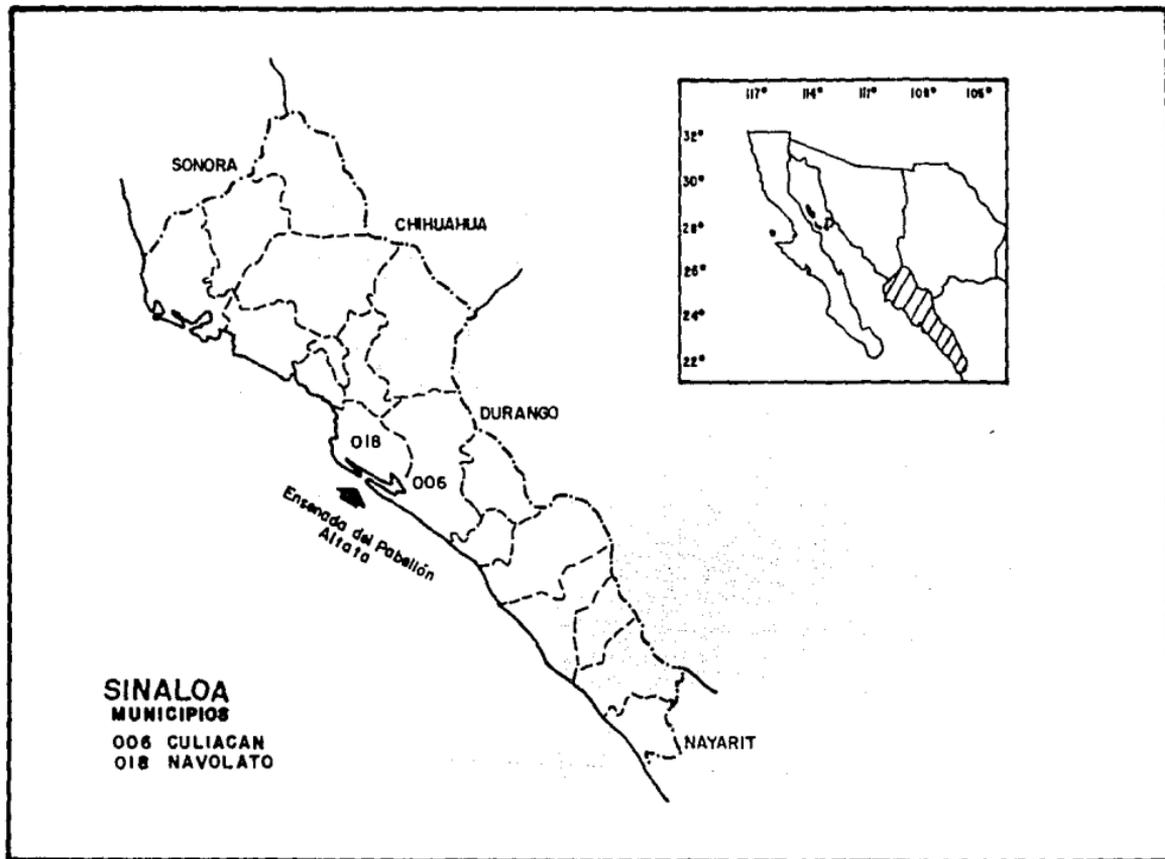


Fig.1 Localización del área de estudio Ensenada del Pabellón-Altata Sinaloa.

Los sedimentos que predominan en Bahía de Altata son arenosos, mientras que en Ensenada del Pabellón son limo-arcilloso (Peraza-Vizcarra, 1973).

En Ensenada del Pabellón se localizan varios islotes que sobresalen a escasos metros de la superficie del agua y se han formado de limos y arcillas. Tanto en los islotes como en los márgenes de las lagunas se hace presente el mangle.

Al sistema fluye el Río Culiacán con un escurrimiento medio anual de 3276.2 m^3 y pequeños arroyuelos, y como afluentes artificiales los drenes del Distrito de Riego No.10 donde se localizan 3 ejidos azucareros (Anuario Estadístico de Sinaloa, 1985).

El distrito No.10 (Culiacán, Sinaloa) es uno de los nueve distritos a nivel nacional con más de 100.000 Ha sembradas y cosechadas, ocupando el quinto lugar en 1981. Estos cultivos son sembrados en su mayoría en otoño-invierno y unos cuantos en primavera-verano (Anuario Estadístico de Sinaloa, 1985). El ingenio azucarero que se localiza en la Laguna de Bataoto desemboca a Ensenada del Pabellón y se ubica enfrente de las localidades Estero los Patos, Los Cuates y El Mapachero.

MATERIAL Y MÉTODO

Se realizaron cinco muestreos en total durante agosto (período de lluvias) de 1990 y febrero y abril (período de sequías) de 1991.

En Ensenada del Pabellón se establecieron 14 estaciones (1-14) y 4 en Altata (15-18) (Fig. 2). Las localidades se determinaron de acuerdo con la batimetría, la dinámica hidrológica y la influencia de los drenes, junto con apoyo de fotografías aéreas.

En agosto se llevó a cabo el análisis hidrológico de las 18 estaciones ubicadas en Ensenada del Pabellón-Altata, junto con un ciclo mareal en las estaciones 12 (Capultita) y 13 (Río Culiacán) de Ensenada del Pabellón (seleccionándose estas localidades por la cercanía al mar, y en las cuales se cubrió una bajamar y una pleamar). El ciclo consistió de 8 horas, donde se determinaron cada 2 horas los mismos parámetros que en el análisis hidrológico.

En Bahía Altata se realizó únicamente el muestreo de agosto, ya que las condiciones fisicoquímicas que se registraron fueron semejantes a las marinas. El sistema no presenta desarrollo agroindustrial circundante y el aporte fluvial no es significativo, por lo que se decidió no cuantificar en los siguientes muestreos. Incluso, Peraza-Vizcarra (1973) y González-Farías, et al. (1988) denotaron el mismo comportamiento.

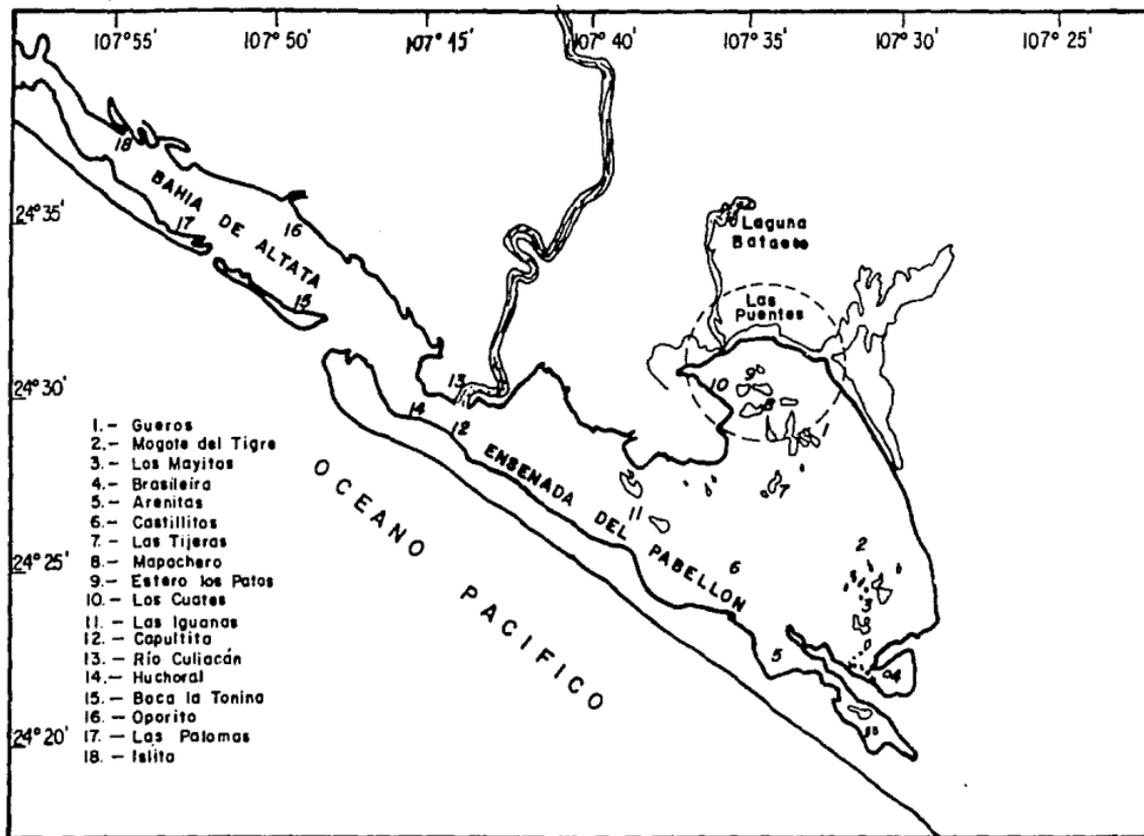


Fig. 2 Ubicación de las estaciones de estudio en el sistema Lagunar Ensenada del Pabellón-Altata Sinaloa, México.

Tanto en febrero como en abril se efectuó el análisis hidrológico, a excepción del ciclo mareal que solo se realizó en febrero.

Los muestreos solo se efectuaron a nivel superficial del agua, determinándose "in situ" los siguientes parámetros: la temperatura medida con un termómetro de cubeta ± 0.5 °C, la salinidad registrada con un refractómetro de campo de ± 1 o/oo y la transparencia medida con un disco de Secchi. Las muestras de agua de cada estación se congelaron para su posterior análisis, en que se cuantificó el oxígeno disuelto (método Winkler y titulado según el método descrito por la Asociación Americana de Salud Pública) (APHA, 1985), los nutrientes (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- y PO_4^{3-}) por espectrofotometría según Strickland and Parson, 1978) y la demanda química de oxígeno (según la técnica descrita por la APHA, 1985).

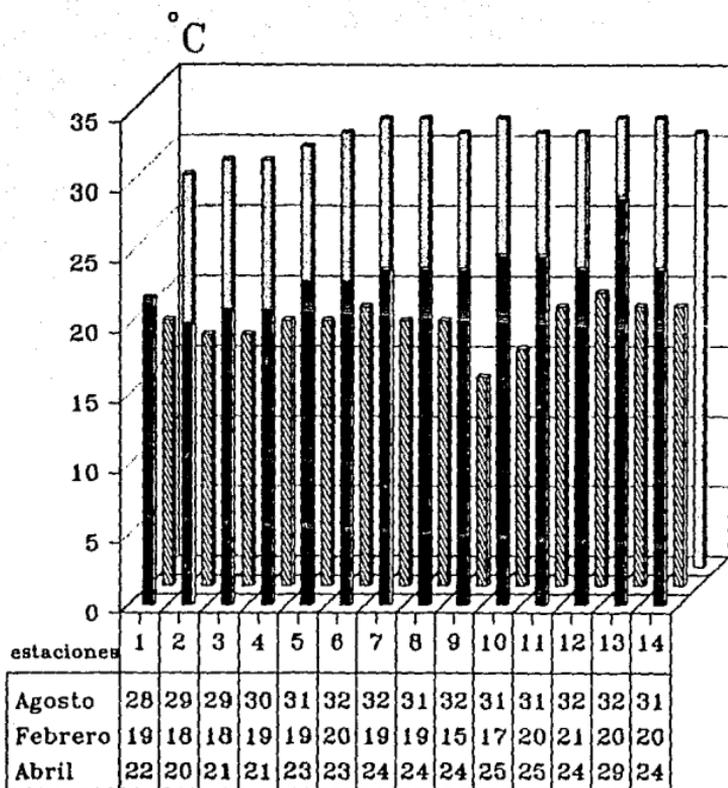
RESULTADOS Y DISCUSION**ENSENADA DEL PABELLON****TEMPERATURA**

En la laguna Ensenada del Pabellón la temperatura superficial del agua osciló de 15 a 32°C. El intervalo más alto registrado fué en agosto de 28 a 32°C y el más bajo en febrero de 15 a 21°C. En la estación 13 (Río Culiacán) se registró en abril 29°C, temperatura más alta que en las otras estaciones. Dado el comportamiento semejante con las estaciones 12 y 14 en los otros muestreos se esperaría una temperatura aproximada de 25°C, por lo que el valor se considera un error de lectura (Fig. 3).

Peraza-Vizcarra (1973) y González-Farías (1988) registraron para abril de 22 a 26°C y de 21 a 26°C, respectivamente; una comparación con el presente estudio señaló condiciones semejantes, tomando en cuenta éstos registros de abril, el intervalo de temperatura ha mostrado escasas variaciones climáticas durante los últimos 19 años.

SALINIDAD

El intervalo de salinidad que se observó fué de 4 a 32 o/oo. Durante agosto (período de lluvias), se determinaron las



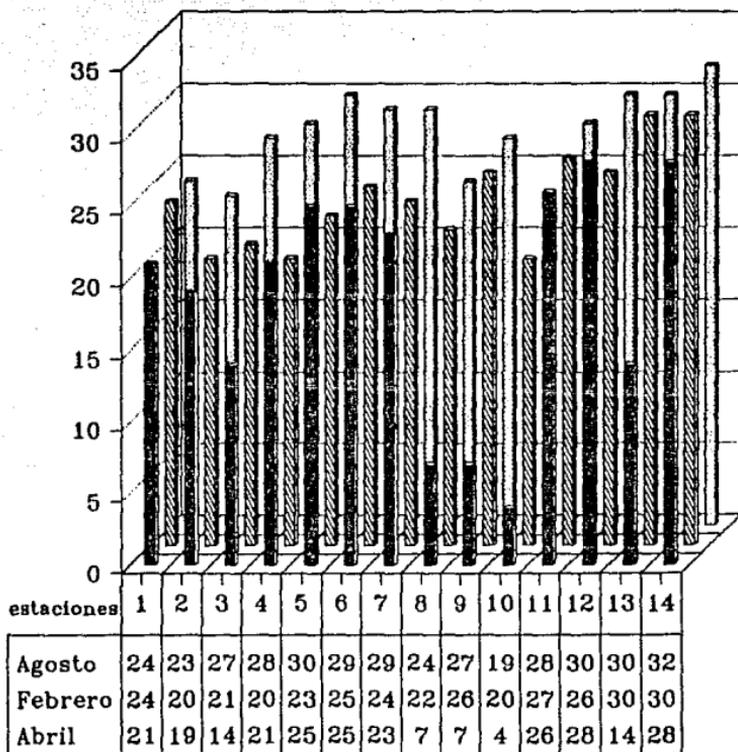
■ Abril ▨ Febrero □ Agosto

Figura 3. Variación de la temperatura en Ensenada del Pabellón.

salinidades mayores de 19 a 32 o/oo y en abril (temporada de sequías), los niveles más bajos fueron de 4 a 28 o/oo (Fig. 4). Esta distribución de salinidad estacional contradictoria se debe a las actividades agrícola-industrial circundantes. De la Lanza et al., (1991b) cuantificaron en la boca del Dren Bataoto salinidades hasta de 0 o/oo durante enero, febrero y abril, debido a descargas de aguas dulces provenientes de la industria azucarera ubicada tierra adentro. Dicho dren puede llegar a afectar tres localidades: Mapachero (8), Estero los Patos (9), y Los Cuates (10), que dependiendo de la dinámica de circulación por vientos o marea reciben salinidades bajas, aunque distintas entre sí y con el resto de las localidades. Estas tres estaciones mostraron en agosto los intervalos de salinidad de 19 a 27 o/oo (determinadas hora y media después de empezada la bajamar) semejantes al resto de las estaciones, y para abril se registraron las mínimas de 4 a 7 o/oo (iniciada la bajamar) período que correspondió al lavado de equipo industrial azucarero y a la influencia de la salida de agua en el refluo.

Peraza-Vizcarra (1973) señaló una distribución estacional de salinidad conforme al régimen climático y González-Farías et al., (1988) reportaron que en abril el intervalo fué de 24 a 34 o/oo. En el presente estudio el intervalo se amplió 20 o/oo lo cual refleja que la laguna experimenta cambios drásticos en la condición halina debido a las actividades agroindustriales circundantes en determinados períodos del año.

o/oo



Abril
 Febrero
 Agosto

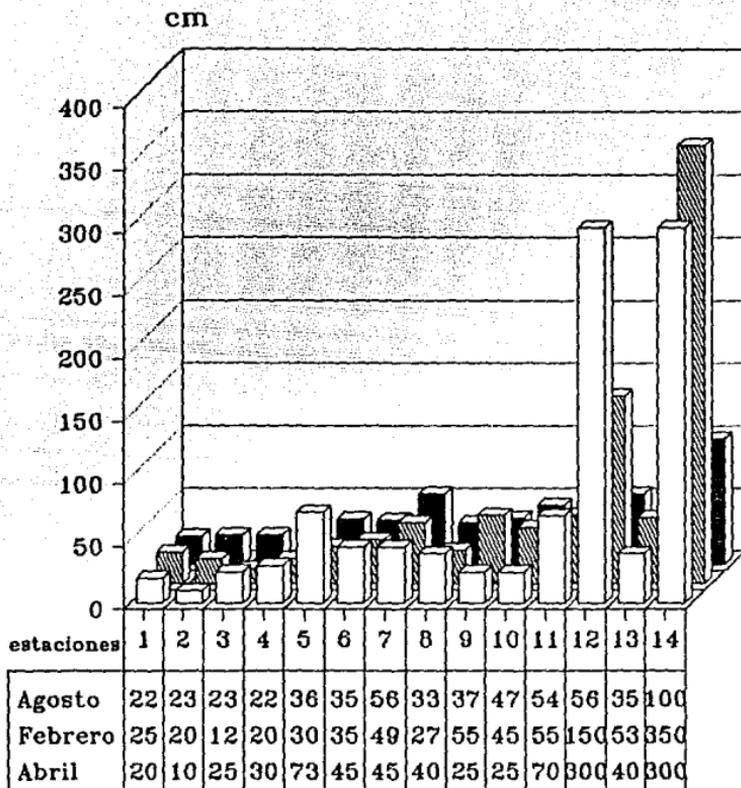
figura 4. Variación de la salinidad en Ensenada del Pabellón.

VISIBILIDAD

La visibilidad al disco de Secchi osciló de 10 a 350 cm, caracterizando dos regiones, la que se ubica desde la barra La Lucernilla cerca de La Boca la Tonina, con un intervalo de visibilidad de 100 a 350 cm y 15 m de profundidad promedio, y la segunda que abarca del Río Culiacán al interior de la laguna de 10 a 73 cm y 3 m de profundidad promedio (Fig. 5). De lo anterior resalta la influencia de la batimetría y aportes fluviales y marinos. Peraza-Vizcarra (1973) realizó un plano batimétrico, en el cual se observaron las mayores profundidades en la boca de la laguna y las menores en el interior de la misma.

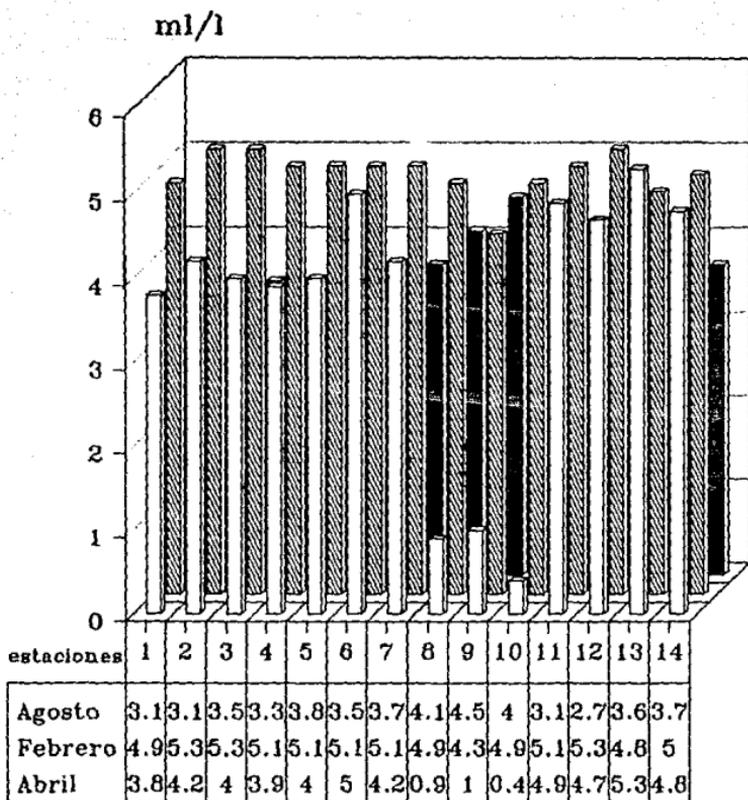
OXÍGENO DISUELTTO (OD)

El oxígeno disuelto mostró una variación promedio de 3.6 a 5.0 ml/l, destacando dos condiciones en los muestreos, la de febrero y abril de 0.4 a 5.3 ml/l y la de agosto de 2.7 a 4.5 ml/l (Fig. 6). Resalta la situación crítica en abril en la estación 8 (Mapachero), 9 (Estero los Patos) y 10 (Los Cuates) donde se cuantificaron niveles de 0.9, 1.0 y 0.4 ml/l, respectivamente, en bajamar y con disminución en el tirante de agua de en un 50 % aproximadamente. En apoyo a lo anterior, De la Lanza *et al.*, (1991b) en el mismo día registraron en el Dren Bataoto 0 ml/l (situación anóxica) con la consiguiente influencia



Abril
 Febrero
 Agosto

figura 5. Variación de la visibilidad al disco de Secchi en Ensenada del Pabellón.



Abril

 Febrero

 Agosto

Figura 6. Variación de la concentración de oxígeno disuelto en Ensenada del Pabellón.

en las tres localidades citadas. Ardisson (1980) en la Laguna de Chachalacas, Veracruz, señaló un total agotamiento de este gas debido a su consumo en el metabolismo de la materia orgánica, durante las descargas de los ingenios azucareros.

Perkins (1976) y Mc Neely *et al.* (1979) han definido que en ambientes estuarinos el nivel de concentración de oxígeno disuelto (OD) adecuado para los aspectos metabólicos de los organismos debe ser mayor a 2.80 ml/l. Sin embargo, De la Lanza (comunicación personal) ha analizado el contenido de oxígeno disuelto en diversos cuerpos de agua y señala que el contenido puede variar en un ciclo de 24 h de 1 (respiración nocturna del sistema) a > 8 ml/l (máximas fotosíntesis diurnas), sin considerarse riesgoso para la vida acuática la concentración de 1ml.

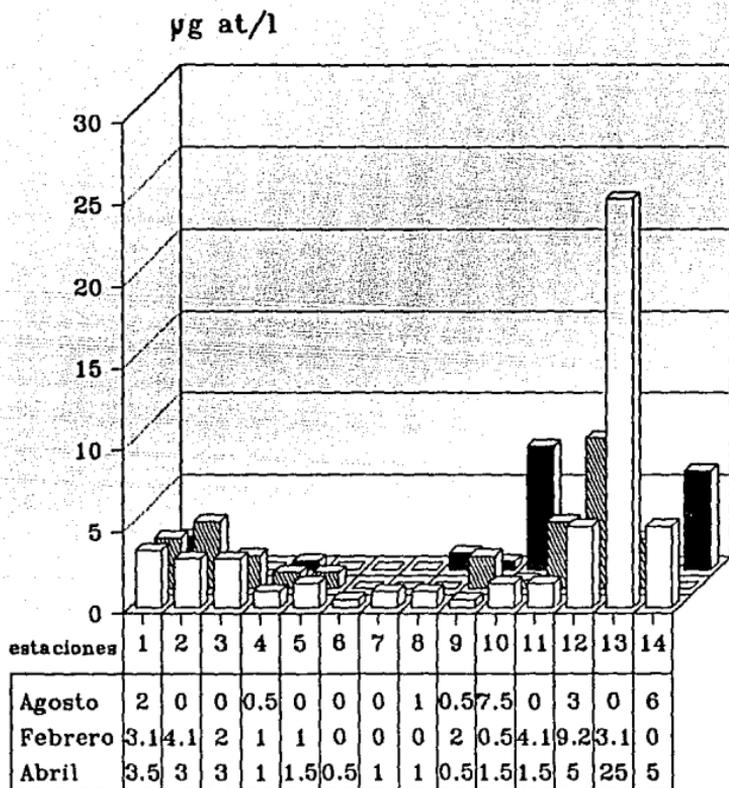
La saturación de OD en el sistema lagunar promedió de 71.7 % a 91.4 % son considerados como normales para éstos ambientes. Cuatro localidades registraron un mayor porcentaje de saturación: Las Iguanas (11) en abril y Capultita (12) en febrero con 100%, y Estero los Patos (9) en agosto y Río Culiacán (13) en abril con 103 y 106 % respectivamente, resultado de una mayor actividad fotosintética como aquella registrada por De la Lanza *et al.* (1991b), con $700\text{mg C/m}^2/\text{día}$. La presencia de fitoplancton y en general, de vegetación acuática, aumenta el contenido de oxígeno hasta la sobresaturación y son frecuentes valores de 120 % llegando a ser todavía mayores durante las horas de sol entre una

rica vegetación litoral, Margalef (1974). A pesar de esto, en Estero los Patos en abril se detectaron niveles críticos de 18.8 % en bajamar, situación extrema que puede nivelarse por máximas fotosíntesis y dinámica mareal.

AMONIO (NH_4^+)

Las concentraciones promedio de amonio registradas fueron bajas de 1.5 a 3.8 $\mu\text{g at/l}$. En el sistema se determinaron máximos de 9.2 a 25 $\mu\text{g at/l}$ en el área de influencia del Río Culiacán, en cuyo caso son resultado de aporte fluvial (Fig. 7).

El Mapachero (estación 8), Estero los Patos (estación 9) y Los Cuates (estación 10) no mostraron contenidos de amonio altos. Arenas-Fuentes y De la Lanza (1990) señalaron que el amonio puede ser retirado ya sea por procesos biológicos de asimilación que pueden reducir significativamente éste nutriente y por reacciones como adsorción inmediata por arcillas suspendidas o en la fase sedimentaria. Ambos procesos se cumplen siempre y cuando el contenido no sea mayor de 20 $\mu\text{g at/l}$. Esto significa que en la Laguna Ensenada del Pabellón el sedimento puede llegar a adsorber cantidades significativas y en consecuencia el amonio permanecer disuelto en el agua en cantidades bajas y en algunas localidades, coadyuvarse con cambios de dinámica mareal.



Abril
 Febrero
 Agosto

Figura 7. Variación de la concentración de amonio en Ensenada del Pabellón.

NITRATOS (NO_3^-)

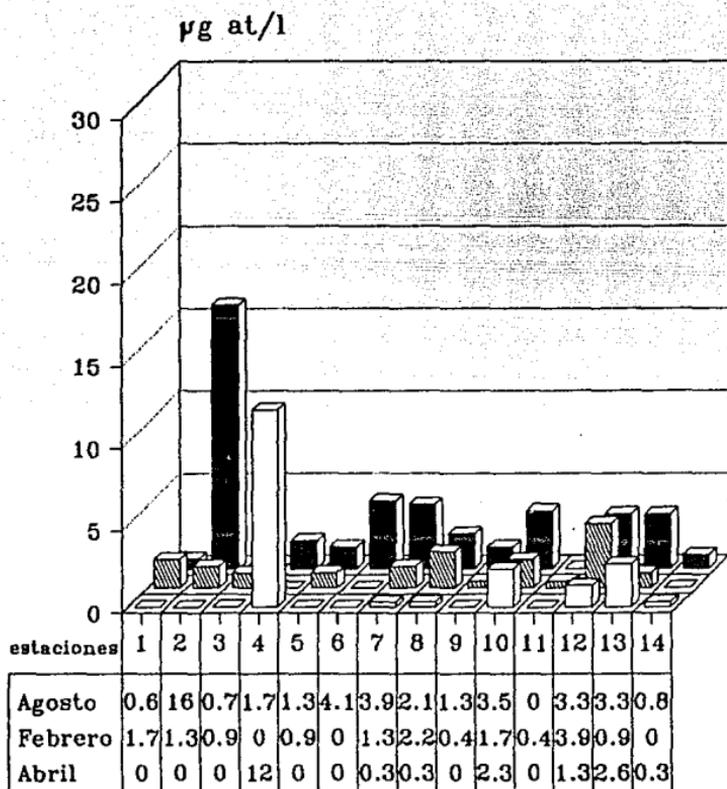
Los niveles fueron de 1.4 a 3.0 $\mu\text{g at/l}$ (valores promedio), mostrando bajas concentraciones en algunas localidades hasta de 0 $\mu\text{g at/l}$. Las estaciones Brasileira (estación 4) y Mogote del Tigre (estación 2) registraron los más altos contenidos de 12 y 16 $\mu\text{g at/l}$, respectivamente (Fig. 8).

La concentración de este nutriente decreció en la temporada de sequía con excepción de la estación 4 en abril. Okuda et al. (1969) señalaron que los ríos representan el abastecimiento más importante de nitratos a sistemas costeros, sin embargo el Río Culiacán (estación 13) fue una de las localidades que no presentó concentraciones altas.

El intervalo de 0.0 a 16 $\mu\text{g at/l}$ muestra similitud a los registros de otras lagunas como Huizache-Caimanero, en donde se han cuantificado de 0.4 a 30 $\mu\text{g at/l}$ según lo señalan De la Lanza y García-Calderón (1991a) y la Laguna de Coyuca, Gro. con 0.31 a 7.9 $\mu\text{g at/l}$ (López-Andrade, 1986).

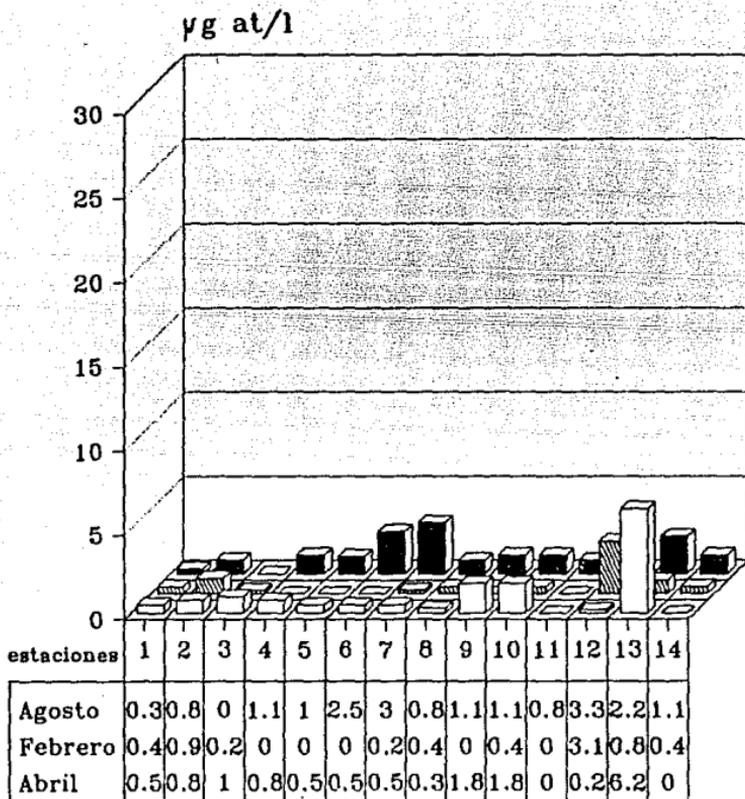
NITRITOS (NO_2^-)

Los niveles de nitritos determinados fueron de 0.5 a 1.4 $\mu\text{g at/l}$ (valores promedio). Las concentraciones altas fueron de 1 a 6.2 $\mu\text{g at/l}$ ubicadas en Río Culiacán y sus cercanías (Fig. 9).



Abril
 Febrero
 Agosto

figura 8. Variación de la concentración de nitratos en Ensenada del Pabellón.



Abril
 Febrero
 Agosto

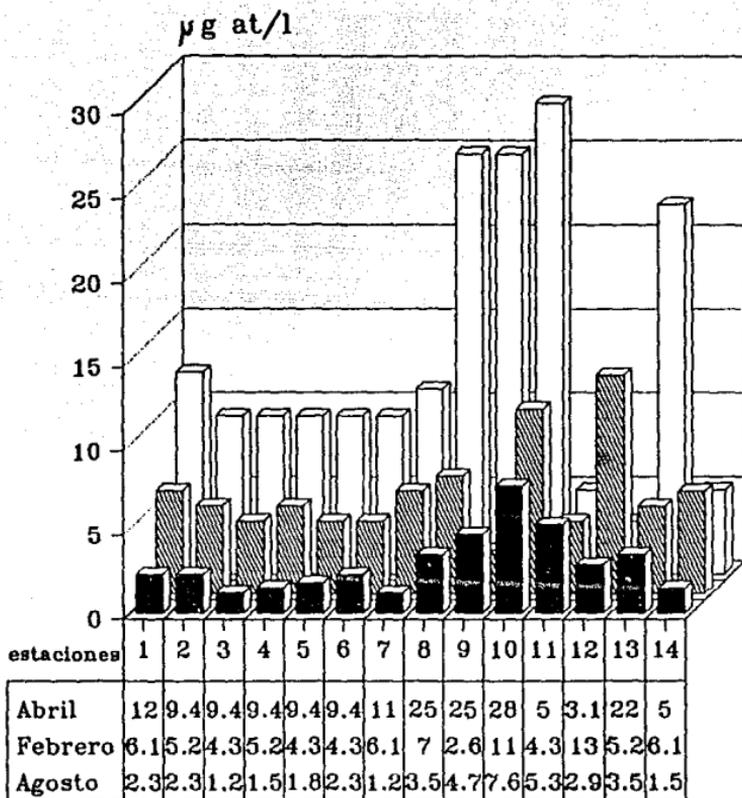
Figura 9. Variación de la concentración de nitritos en Ensenada del Pabellón.

López-Andrade (1986) determinó para la Laguna de Coyuca, máximos de 1.0 y 2.4 $\mu\text{g at/l}$ atribuidos al aporte del Río Coyuca.

El comportamiento de las formas nitrogenadas, en la Laguna Ensenada del Pabellón fué el siguiente: el ión amonio predominó en febrero y abril, nitratos en agosto y los nitritos mostraron contenidos elevados en los tres meses muestreados. Los altos niveles de nitritos difícilmente pueden ser explicados aquí de no ser por los procesos de desnitrificación y nitrificación que no fueron considerados en este estudio y posiblemente hayan ocurrido en el cauce del Río Culiacán con los desechos de los asentamientos humanos.

ORTOFOSFATOS (PO_4^{3-})

Las concentraciones promedio fueron de 3.3 a 13 $\mu\text{g at/l}$, con máximos que oscilaron de 9.4 a 28 $\mu\text{g at/l}$, en abril, con excepción de las estaciones Las Iguanas (11), Capultita (12) y El Huichoral (14) (Fig.10). Estos contenidos altos sobrepasan a lo registrado en otros sistemas lagunares de la misma vertiente, como por ejemplo a lo referido por De la Lanza *et al.* (en prensa) en la Laguna de Huizache-Caimanero con 0.5 a 1.3 $\mu\text{g at/l}$, en Laguna Escuinapa con 0.7 a 8 $\mu\text{g at/l}$, en Bahía de Yavaros con 0.7 a 3.3 $\mu\text{g at/l}$, y en Bahía de Altata con 2.2 a 2.8 $\mu\text{g at/l}$). En consecuencia, esta variable significa un nivel de eutroficación alto.



Agosto
 Febrero
 Abril

Figura 10. Variación de la concentración de ortofosfatos en Ensenada del Pabellón.

* Se cambió el orden de los meses.

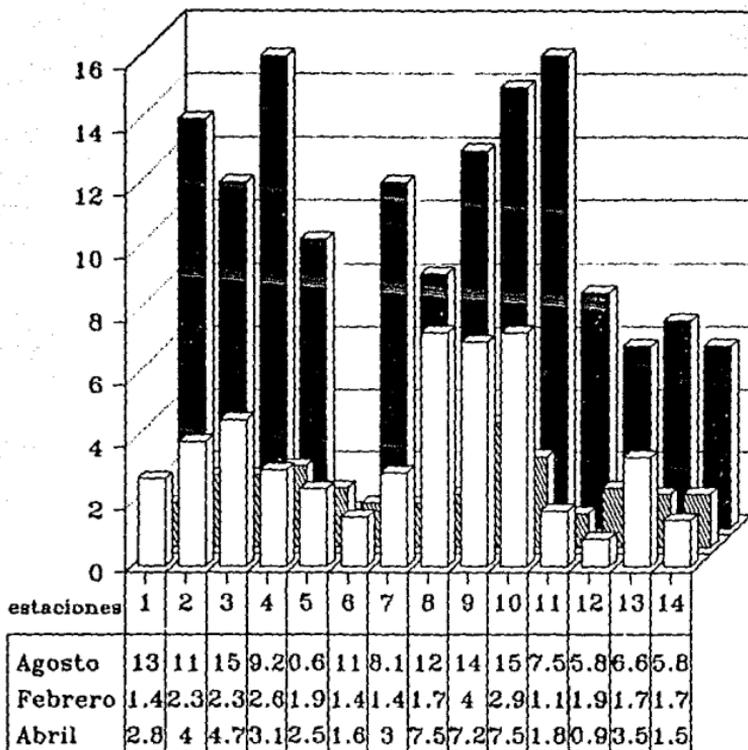
De la Lanza et al. (1991b) determinaron en el Dren Bataoto para abril ortofosfatos de 62.5 $\mu\text{g at/l}$, dejando de manifiesto la influencia que se ejerce sobre el Mapachero (estación 8), Estero los Patos (estación 9) y Los Cuates (estación 10), las cuales alcanzaron contenidos de 25 a 28 $\mu\text{g at/l}$.

Los registros de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1983) informan que el Municipio de Culiacán es uno de los nueve distritos con más de 100,000 ha sembradas a nivel nacional, en donde se emplean cantidades elevadas de fertilizantes químicos como ácido fosfórico y derivados, además de amoníaco anhídrico, lo cual viene a reflejarse en la laguna con el incremento de los nutrientes nitrogenados y fosforados disueltos.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

En el sistema se determinaron niveles de 2.0 a 9.6 $\text{mg O}_2/\text{l}$ (valores promedio), observándose concentraciones bajas en general (Fig. 11). Se alcanzaron máximos de 15 $\text{mg O}_2/\text{l}$, los cuales no se consideran altos desde el punto de vista de los criterios ecológicos y de calidad del agua (Rodier, 1978; De la Lanza, 1990). En comparación con el informe de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1980-81) que cuantificó en la laguna de Ostión, Ver. de 50 a más de 500 $\text{mg O}_2/\text{l}$, determinándose de alta contaminación, la Laguna Ensenada del Pabellón no

mg O₂/l



Abril
 Febrero
 Agosto

Figura 11. Variación de la concentración de la demanda química de oxígeno en Ensenada del Pabellón.

manifiesta alteración.

Las concentraciones de oxígeno disuelto se encontraron dentro de un intervalo semejante a un gran número de lagunas que no presentan actividades agrícolas e industriales, como la Laguna de Moroncarit, Son. (1.80-4.80 ml/l), Bahía Yavaros, Son. (3.61-6.19), Laguna de Huizache-Caimanero, Sin. (2.72-5.72), Laguna de Cuyutlán, Col. (2.58-5.46), Contreras (1985). López-Andrade (1986), en la Laguna de Coyuca, encontró contenidos de 4.06 a 21.32 mg O₂/l, y señala que se reduce la posibilidad de que la carga de materia orgánica estimada a través de la demanda química de oxígeno sea de origen antropogénico, más bien de origen autóctono, como de comunidades de plancton, vegetación sumergida, manglar y excretas de animales. En el sistema se presentan condiciones semejantes: valores de oxígeno disuelto aceptables y bajas concentraciones de DQO, asumiendo un comportamiento similar.

ALTATA

En el muestreo de agosto realizado en la Bahía de Altata, se registraron las siguientes condiciones fisicoquímicas (valores promedio) de PO₄³⁻ 2.4 µg at/l, NH₄⁺ de 0 µg at/l, NO₃⁻ de 0 µg at/l y NO₂⁻ de 0.4 µg at/l (Fig. 12). Lo anterior mostró que no existe, hasta la fecha, influencia antropogénica (desechos agroindustriales) en dicho sistema y sí el libre acceso del agua

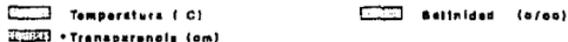
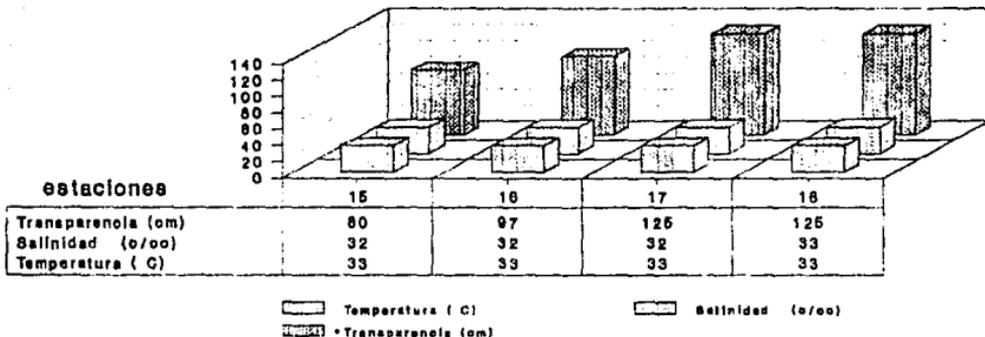
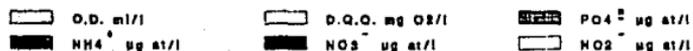
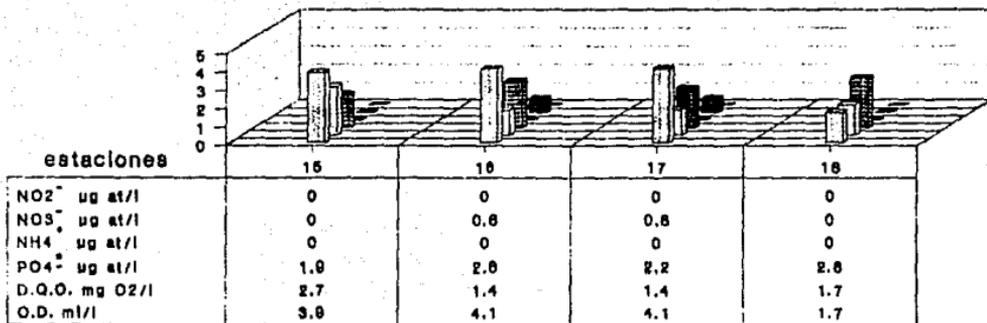


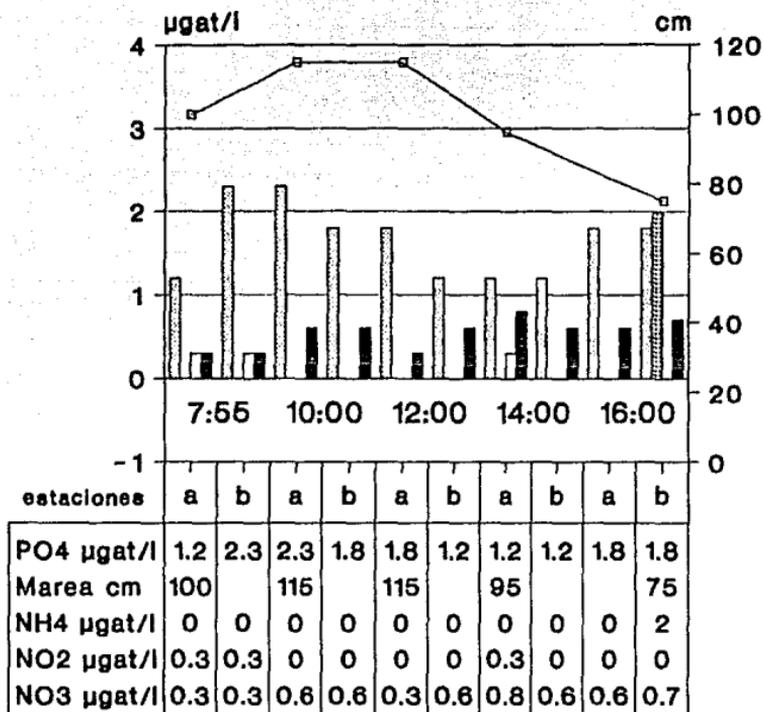
Figura 12. Variación de las concentraciones hidrológicas en Bahía Altata.

de mar.

CICLO MAREAL

El ciclo estacionario hidrológico de 8 h realizado en agosto en Capultita y en La Boca del Río Culiacán, correspondió a una pleamar con una altura de 100 a 115 cm en las dos primeras horas de muestreos y una bajamar con una altura de 115 a 75 cm, aproximadamente, en las 6 h restantes. En la entrada no se registraron diferencias entre las variables estudiadas en ambas localidades; en la salida se incrementaron las concentraciones de los PO_4^{4-} , NO_3^- y DQO en más de un 25 % tomando como 100% el contenido de la bajamar. Este incremento puede asociarse no solo al mayor aporte del río, sino también al de los drenes y de localidades interiores de la laguna hacia el exterior con la ayuda de la marea y para oxígeno disuelto muy escasamente. Se determinó un contenido puntual de 2 $\mu\text{g at/l}$ de NO_2^- , que se considera de escaso significado dado que no se mantuvo el incremento. (Figs. 13a y 13b).

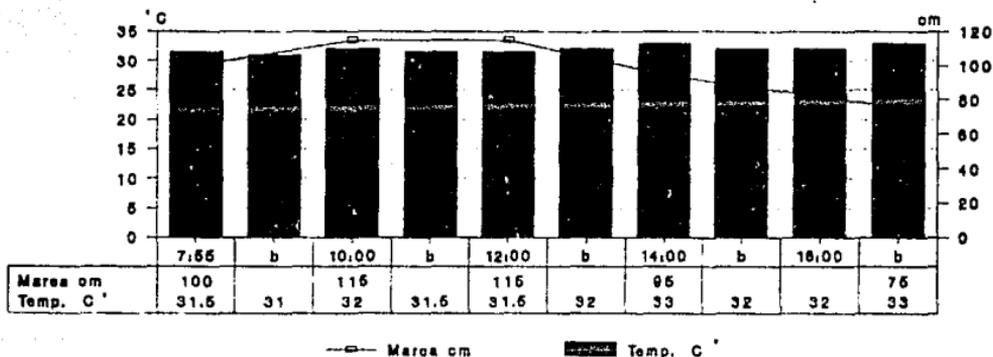
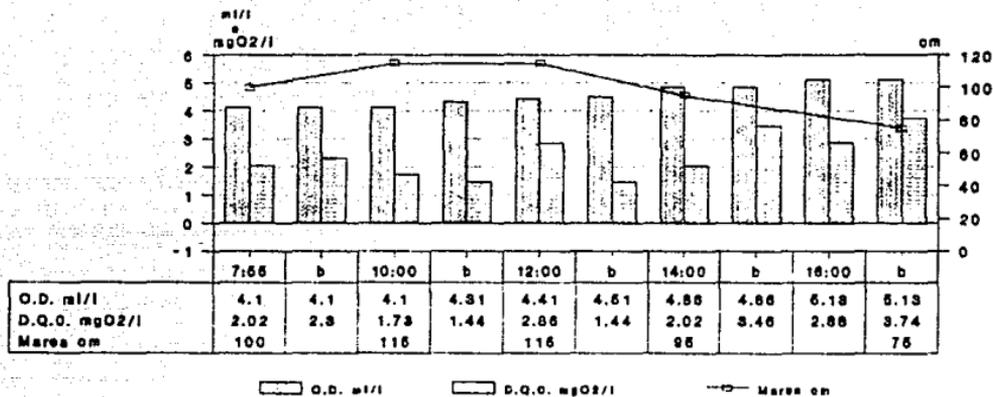
Durante el ciclo en febrero se alcanzaron los contenidos más altos de los nutrientes en comparación con el anterior, e incluso diferencias marcadas entre ambas localidades, con una concentración mayor en el lado del río. En la pleamar con un altura de 12 a 38 cm, se mantuvieron los ortofosfatos en los niveles altos y el resto de los nutrientes disminuyeron



PO4 µgat/l
 Marea cm
 NH4 µgat/l

NO2 µgat/l
 NO3 µgat/l

Figura 13a. Variación de las concentraciones de nutrientes durante un ciclo mareal en las estaciones : Río Cullacán (a), y Capultita (b) el 27-agosto-90.

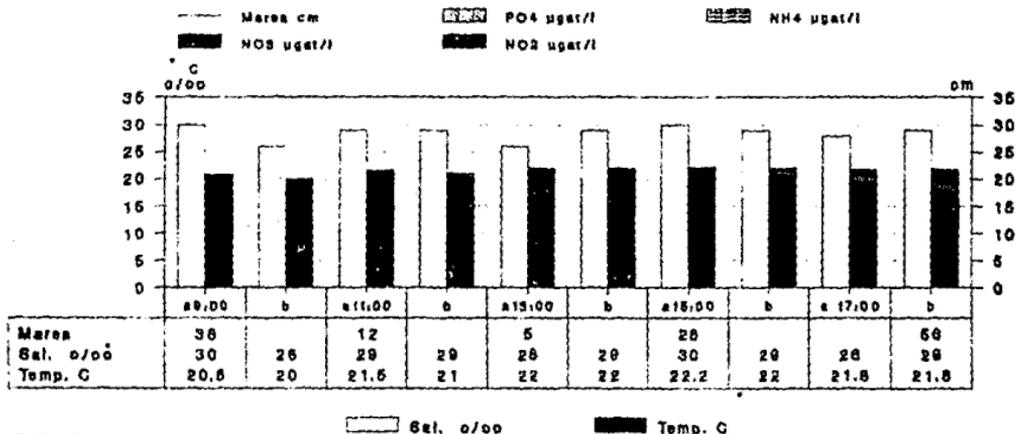
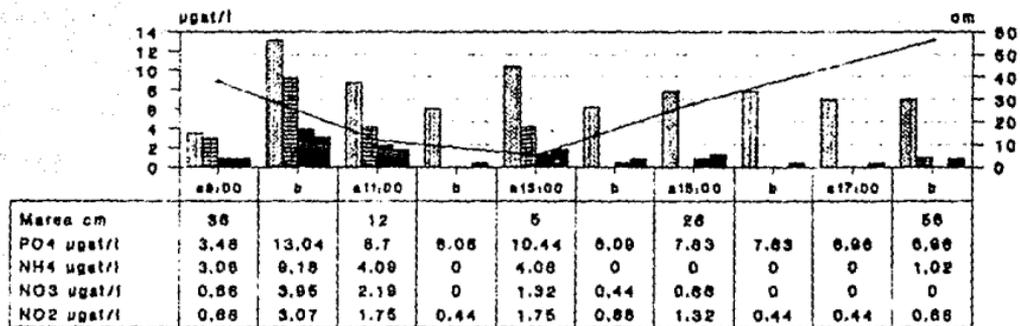


a: Río Culiacán
 b: Capullita
 27-05-90

Fig.13b Variación de las concentraciones hidrológicas durante un ciclo marea en dos estaciones.

sensiblemente (Fig. 14).

De lo anterior destaca el papel exportador de nutrientes por parte de la laguna con el efecto de la bajamar, sin embargo el tipo, la fase y el retraso de la marea dentro del sistema enmascara el efecto de la salida de materiales a la zona marina. Asimismo sobresale la influencia de la zona agrícola en la laguna y consecuentemente en el área costera adyacente.



a: Río Culiacán
b: Capullita
08-02-91

Fig.14 Variación de las concentraciones hidrológicas durante un ciclo mareal en dos estaciones.

CONCLUSIONES

ENSENADA DEL PABELLÓN

En el marco global de esta laguna, las condiciones físicoquímicas de la temperatura, visibilidad, oxígeno disuelto, amonio y nitratos son semejantes a otros sistemas lagunares y adecuadas para el desarrollo de los productores primarios. No obstante, el decremento de la salinidad cerca de los drenes, y el incremento de ortofosfatos y nitritos reflejan cambios en sus ciclos, debido al aporte del área agrícola, industria azucarera y desechos urbanos circundantes.

Los niveles bajos de oxígeno disuelto en abril en las estaciones El Mapachero, Estero los Patos y Los Cuates mostró que se pueden presentar situaciones críticas temporales (casi de anóxia) que pueden ser resultado tanto de un alto metabolismo local, ya que se presenta una fuerte carga de heces de aves como se observó durante el estudio, asociado con la disminución en la dinámica del agua y bajo tirante en bajar, y con las descargas del ingenio azucarero de Bataoto ubicado frente a estas estaciones.

La demanda química de oxígeno reflejó bajos aportes de materia orgánica oxidable por un lado o una rápida remineralización por otro.

Las altas descargas agroindustriales de PO₄ que se efectúan dentro de la laguna a través de los drenes son perceptibles solo

en ciertas localidades, períodos y en bajamar, como se registró en El Mapachero, Estero los Patos y Los Cuates. En pleamar las concentraciones de este ión disminuyeron, pero no lo suficiente para dejar de señalar el impacto a que ha sido sometido este cuerpo de agua y manifestar un grado perceptible de eutroficación.

La Laguna de Ensenada del Pabellón exporta materiales al ambiente marino, en concentraciones temporalmente variables. En el muestreo de agosto se registró una exportación de materia orgánica oxidable a través de la DQO en un 31%, NO_3^- en un 27% y PO_4^{3-} en un 25%, y en febrero NH_4^+ en un 79%, NO_3^- en un 74%, NO_2^- en un 43%, y PO_4^{3-} en un 1.8% .

ALTATA

Las condiciones hidrológicas que imperan en Bahía Altata son semejantes a las oceánicas, no reflejando incremento en nutrientes que signifiquen impacto por contaminación, que proceda de actividades agroindustriales en sus alrededores.

BIBLIOGRAFIA

- American Public Health Association (1985) Standard Methods for the examination of water and wastewater, 14th ed. Inc. Washington. 1268pp.
- Anuario Estadístico del Estado de Sinaloa (1985). INEGI (1986). 910pp.
- Ardisson, H. P. L. (1980) Evaluación de las alteraciones provocadas por los desechos de ingenios azucareros en la Laguna Chachalacas, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM. México. 125pp.
- Arenas-Fuentes, V. (1979) Balance anual del Carbono Orgánico, Nitrógeno y Fósforo en el Sistema Lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa. México. Tesis doctoral. Fac. de Ciencias, UNAM. México. 102pp.
- Arenas-Fuentes, V., y De la Lanza, E. G. (1980) El metabolismo como determinante de intercambio de nutrientes en sedimentos ricos en materia orgánica en una laguna costera. Ciencias Marinas. Universidad Autonoma de Baja California. 16(3): 45-62.
- Contreras, E. F. (1983) Variaciones en la hidrología y concentraciones de nutrientes del área Estuarino-Lagunar de Tuxpan-Tampamachoco, Veracruz. México. Biótica 8 (2): 201-213.

- Contreras, E. F. (1985) Las lagunas Costeras Mexicanas. Ed. Centro de Ecodesarrollo. México. 253pp.
- Day, J. H. (1981) Chemistry and fertility of estuaries. In: Estuarine Ecology, With Particular Reference to Southern Africa. A. A. Balkema, Rotterdam. pag. 57.
- De la Lanza, E. G. (en prensa) Importancia Ecológica de los Ciclos Biogeoquímicos en Sistemas Lagunares Costeros. Memorias de "Lagunas Costeras y Estuarios". UAM, Iztapalapa. México.
- De la Lanza, E. G. y García Calderón (1991a) Sistema Lagunar Huizache y Caimanero. Sin. un estudio socio ambiental, pesquero y acuicola. En: Hidrobiologica 1 (1): 1-35.
- De la Lanza, E. G., Hernández, S., Conde, J., y García, J. L. (1991b) Hidrología y Difusión de Nutrientes del Sedimento en Drenes Agroindustriales Periféricos en una Laguna Costera al NO de México. En: Memorias del IV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Chile. pag. 75.
- De la Lanza, E. G., García-Calderón, J. L., Tovilla-Hernández, C., y Arredondo-Figueroa, J. L. (en prensa) Ambientes y Pesquerías en el Litoral Pacífico Mexicano. INEGI.
- Departamento de Ingeniería Hidráulica Pesquera de la antigua Secretaría de Industria y Comercio (1969-1970) Análisis Teórico de la Estabilidad de Acceso a la Bahía de Altata. Sinaloa. México. (No publicado)

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- García, E. (1973) Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Keppen. Inst. de Geografía. UNAM. México. 246pp.
- Gómez-Aguirre, S. (1965) Comportamiento estacional de planctón de la laguna de Terminos, Campeche, Mexico. (resultados preliminares). Tesis Prof. Fac. Ciencias. UNAM. México. 100pp.
- González-Farías, F., Páez-Osuna, F., Bójorquez-Leyva, H. y Hernández-Garza, M. (1988) Determinación de los niveles de contaminación del agua en las lagunas costeras del Estado de Sinaloa. Informe presentado a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología-Delegación Sinaloa. 40 pp.
- Jaworski, N. A. (1981) Sources of nutrients and the scale of eutrophication problems. In: Estuaries and Nutrients. Humana Press, Clifton, N. J. pag. 83.
- López-Andrade, F. J. B. (1986) Caracterización hidrológica para evaluar la calidad de la Laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, durante el ciclo anual otoño de 1983-Verano 1984 y la aplicación de técnicas de percepción remota. Tesis Prof. Fac. Ciencias. UNAM. México. 80pp.
- Margalef, R. (1974) Ecología. Ed. Omega. Barcelona, España. pag. 38.
- Mc Hugh, J. L. (1976) Estuarine fisheries: Are they doomed? In: Estuarine Processes. Academic Press, N. York. 1: 15-27.

- Mc. Neely, N. R., P. Y. Neimans, y L. Dewer. (1979) Water quality source book, a guide to water quality parameters. Inland Waters Wels. Qual. Branch. Ottawa, Canada. 89pp.
- Nixon, S. W. (1981) Remineralization and nutrients cycling in coastal marine ecosystems. In: Estuaries and Nutrients. Humana Press, Clifton, N. J. pag. 111.
- Odum. E. P. 1971 Fundamentals of ecology. Saunders Co., Philadelphia. 574pp.
- Okuda, F., Benítez, J. y Fernández, E. A. (1969) Vertical distribution of inorganic and organic nitrogen in the Cariaco Trench. Boletín Inst. Oceanogr. Univ. Oriente. 8(1 y 2): 28-34.
- Peraza-Vizcarra, R. (1973) Características hidrográficas y distribución de los sedimentos en el Sistema Estuarino Bahía de Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. México. 64pp.
- Perkins, E. J. (1976) The evaluation of biological response by toxicity and water quality assessments. In: Marine Pollution. Ac. Press. London. 505-585.
- Ryther, J. H. and W. M. Dunstan, (1971) Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment, Science. 171,1008.
- Rodier, J. (1978) Análisis de las aguas. Omega. Barcelona. 1059pp.

- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1983)
Estadística Agrícola de los distritos de Riego. Año Agrícola
1981. Informe No. 133. pag. 133 y No. 127. pag. 105.
- Strickland. J. D. y T. R. Parson. (1978) A Practical handbook of
sea water analysis. Journal of the Fishereis. Research.
Board of Canada. Ottawa. Minister of supply and Services.
310pp.
- Universidad Autónoma de Sinaloa (1971-1972) Estudios ecológicos e
hidrográficos. Informe presentado a la Secretaría de
Agricultura y Recursos Hidráulicos de Sinaloa. México. 75pp.