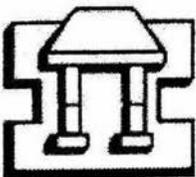




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

ESTUDIO BACTERIOLOGICO Y FISICOQUÍMICO DE LA CALIDAD
DEL AGUA DE LA LAGUNA DE MECOACAN, TABASCO, MEXICO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A
ISEO AGUILAR RAMIREZ



LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MÉXICO

2002



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.



U.N.A.M. CAMPUS

A mi madre Margarita Ramírez
A mis hermanos Mar, Marianna y Juan
A mi abuela Natividad Díaz
A mi tía Consuelo Román
A mi abuela Carmen Juárez

Con mi amor y profundo agradecimiento

A mis amigos

Verónica, Isabel, Blanca, Federico y Xavier

Mi agradecimiento sincero a:

QFB. Esperanza Robles Valderrama

M. en C. Angel Durán Díaz

Biól. Blanca Martínez Rodríguez

Biól. Guadalupe Sáinz Morales

Biól. María Elena Martínez Pérez

Y a todas las personas que colaboraron en el trabajo de campo y de laboratorio

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
1. Introducción	3
2. Justificación	5
3. Objetivos	6
4. Marco Teórico	7
4.1 Revisión bibliográfica	7
4.2 Calidad del agua	21
4.3 Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua	24
4.4 Indicadores bacteriológicos de la calidad del agua	31
4.5 Índice de calidad del agua	34
4.6 Descripción del área de estudio	36
4.7 Características de la laguna de Mecoacán	38
5. Metodología	41
6. Resultados y discusión	46
6.1 Análisis estadístico descriptivo	46
6.1.1 Resultados por muestreo	46
6.1.2 Resultados por estación de muestreo	54
6.2 Análisis estadístico inferencial	63
6.2.1 Análisis estadístico de componentes principales	63
6.3 Análisis discriminante	65
6.3.1 Análisis discriminante por estación de muestreo	65
6.3.2 Análisis discriminante por muestreo	69
6.4 Relación coliformes fecales/estreptococos fecales	71
6.5 Índice de calidad del agua	73
6.6 Indicadores de contaminación	75
7. Conclusiones	77
8. Bibliografía	79

1. INTRODUCCIÓN

La zona costera es una estrecha y delicada área de transición entre la tierra y el mar, donde los procesos de producción, consumo e intercambios energéticos se efectúan con una extraordinaria intensidad. El carácter altamente integrado de los dos grandes sistemas naturales que conforman a la zona costera, permite que en un estrecho margen de tierra y agua, se entrelacen procesos fisiográficos y ecológicos para dar lugar a unidades geomorfológicas y biogeográficas únicas: ríos, llanuras de inundación, planicies, tierras húmedas, lagunas costeras, playas, bahías, estuarios, zonas litorales y oceánicas (Botello, 1982; Contreras y Zabalegui, 1988). De esos ambientes las lagunas costeras forman la mayor parte, siendo de gran importancia social y económica.

El término laguna proviene del latín *lacuna*; con menor superficie y profundidad que un lago, es una extensión de agua que se deposita naturalmente. Generalmente es dulceacuícola, pero las hay salobres o saladas. Las lagunas se ubican en depresiones endorreicas de la superficie terrestre y presentan vida vegetal y animal (Alcocer y Escobar, 1990).

Las lagunas costeras son cuerpos de agua somera que corren a lo largo de la costa y que están conectadas al mar abierto por medio de canales y separadas del mismo por barras de arena. Además reciben aportes de agua dulce por medio de las corrientes fluviales (González y Montellano, 1997).

Al ser las lagunas costeras el encuentro de dos masas de agua de diferentes características causan fenómenos peculiares en el comportamiento fisicoquímico y biológico de sus aguas (Contreras, 1985). Esta propiedad de las lagunas costeras es un factor importante porque controla la distribución y diversidad de la fauna (González y Montellano, 1997).

Las lagunas costeras son áreas de importancia económica: por la explotación comercial de algunas especies, como criaderos naturales de especies marinas, como sitios de recreación, y, frecuentemente, se utilizan como depósitos de desechos, lo que provoca graves problemas de contaminación en los cuerpos de agua debido a que en las lagunas, mares y océanos van a mezclarse descargas de aguas negras, aguas residuales industriales y aguas de drenaje de campos agrícolas, provocando así la introducción y distribución de sustancias tóxicas en la red alimenticia que finalmente afectan la salud y la economía de la población humana (Rodríguez y Romero, 1981; Castro, 1981).

En México, en el estado de Tabasco existen importantes sistemas lagunares de tipo costero, los cuales contribuyen sustancialmente a su economía pesquera. Estos son sitios de vital importancia para el desarrollo de la acuicultura, principalmente las lagunas de Mecoacán, del Carmen y Machona (Botello, 1982), por las especies que ahí se desarrollan, como es el caso del ostión *Crassostrea virginica*, las cuales son fuente primordial de ingresos para las poblaciones ribereñas.

Estos ecosistemas –Mecoacán, del Carmen y Machona-, actualmente se encuentran bajo la presión ecológica de las diversas actividades humanas e industriales, que son el resultado de la

expansión urbana e industrial del mencionado estado (Botello, 1981). Debido al impacto de este desarrollo es necesario prevenir la destrucción de dichos lugares, realizando estudios periódicos de la calidad del agua para alertar sobre cualquier cambio significativo de la calidad de estos cuerpos de agua.

2. JUSTIFICACIÓN

A lo largo de los márgenes costeros de México existen muchos cuerpos de agua con características fisiográficas únicas. De esos ambientes las lagunas costeras forman la mayor parte, siendo de gran importancia económica y socialmente en varios aspectos; entre ellos sobresalen el alimenticio, por el potencial productivo que poseen; el turístico, por las peculiaridades del paisaje y del clima; el industrial, por la disponibilidad constante de agua, y el comercial, al ser el mar la mejor vía para el transporte de productos (Botello, 1982; Contreras y Zabalegui, 1988).

El litoral del estado de Tabasco es uno de los ecosistemas que más impactos y alteraciones ha resentido en un periodo de tiempo relativamente corto. La tala inmoderada de vegetación costera para dar lugar a la ganadería extensiva, la agricultura intensiva de gramíneas, la alteración de los flujos hidrológicos, la expansión industrial petroquímica, el mal diseño de las obras de dragado, la desecación de pantanos, la instalación de oleoductos sobre los cuerpos acuáticos, la sobrefertilización de los ríos y el escaso control de los desechos que se vierten sobre todos los cuerpos de agua, son las principales actividades que ponen en serio peligro a los recursos costeros, que muy bien pudieron ser manejados con fines alimentarios (Contreras y Zabalegui, 1988).

Las lagunas costeras del estado de Tabasco -y en especial la laguna de Mecoacán-, son centros de gran importancia ostrícola (Castro, 1981); además de ser zonas de explotación comercial por tratarse de criaderos naturales de las especies marinas que en ellas existen. Sumado a esto la laguna de Mecoacán también es una zona recreativa, por lo cual resulta necesario efectuar periódicamente estudios para evaluar su calidad tanto bacteriológica como fisicoquímica y prevenir su deterioro. Esto, en base a que el crecimiento poblacional y el desarrollo industrial de la población de Mecoacán también se han incrementado lo que ha provocado problemas en la laguna por la creciente contaminación de la industria petrolera e industrias afines, así como la tala inmoderada de bosques de manglar en los alrededores de la laguna de Mecoacán (Contreras y Zabalegui, 1988).

Si bien es cierto que ya se han realizado estudios en la laguna de Mecoacán, éstos han sido más enfocados a otros temas, por lo que los estudios de calidad del agua son de gran importancia dados los efectos de deterioro por asentamientos humanos, desarrollo industrial y agrícola, accidentes fortuitos, sobrepesca, turismo, etcétera, que han llevado a la modificación o aún hasta la desaparición de las condiciones naturales del medio acuático (De la Lanza, 1986).

- 3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua de la laguna de Mecoacán utilizando para ello el índice de calidad del agua (ICA).

OBJETIVOS PARTICULARES

Conocer el comportamiento de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos en el agua de la laguna de Mecoacán en dos épocas del año (calor y lluvias).

Conocer el origen de la contaminación mediante la relación CF/EF (coliformes fecales/estreptococos fecales).

Determinar los coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales.

Analizar los parámetros fisicoquímicos (DBO, DQO, nutrientes, sólidos totales, disueltos y suspendidos, detergentes, sulfatos, alcalinidad, dureza, cloruros, conductividad, pH, OD, y temperatura).

Calcular el índice de calidad del agua (ICA).

Mediante análisis estadísticos buscar los grupos de parámetros mas significativos.

Conocer la variación de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos entre las zonas de muestreo.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La laguna de Tamiahua es una albufera, situada en el litoral del Golfo de México, en la Llanura Costera del Estado de Veracruz, entre los ríos Pánuco y Tuxpan. El estudio de su fisiografía, batimetría, salinidad, temperatura, turbidez, sedimentos y descripción general tuvo como objetivo conocer de manera general, la geomorfología, características oceanográficas y sedimentos, para tratar de entender su origen, su dinámica, sus procesos de sedimentación, e investigar cómo los sedimentos reflejan las condiciones de depósito. La importancia de este cuerpo acuático radica en el hecho de ser productora de hidrocarburos lo que ha ocasionado que las diferentes instalaciones de Petróleos Mexicanos en áreas vecinas y la perforación de pozos de exploración en el vaso de la laguna, modificaran las condiciones ecológicas locales (Cruz, 1968).

En 1977, Aguilera contribuyó al conocimiento hidrológico de la laguna Mecoacán, Puerto Ceiba, Tabasco. Observó una gran variabilidad en las condiciones hidrológicas de la laguna debida a la variación estacional de las condiciones atmosféricas.

Gómez efectuó la determinación de corrientes en la laguna costera Mecoacán. Se describen las corrientes de la laguna relacionándolas con la distribución de los bancos de ostión americano *Crassostrea virginica* (Gómez, 1977).

En 1978, Botello investigó la calidad de las aguas de la laguna de Términos en Campeche y en las áreas costeras adyacentes durante los periodos de sequía y lluvias a lo largo de un ciclo anual. El autor remarcó en su estudio que la laguna de Términos se encuentra ligeramente alterada por actividades humanas, por lo que es de prever que el incremento de las actividades agrícolas y el desarrollo urbano e industrial alteren aún más el ecosistema lagunar.

Gastelum en 1979 evaluó la distribución superficial de las variables fisicoquímicas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH) en la laguna de Mecoacán del estado de Tabasco, México, durante un ciclo anual.

En 1980 De la Cruz y Navarrete evaluaron los posibles efectos del impacto ambiental sobre la comunidad neotónica de la laguna de Mecoacán. Los autores mencionan que la utilización de los sistemas estuarinos por el hombre les impone una serie de modificaciones que van desde la explotación pesquera hasta el cambio radical de su fisiografía y ecología por efecto de obras portuarias e industriales. La regulación de esta utilización debe estar fundamentada en estudios amplios y precisos con el fin de que se infrinja el mínimo deterioro sobre tales sistemas, ya que del ambiente marino, son los más vulnerables a la influencia humana.

Ezcurrea y López en 1980 al realizar un estudio sobre las comunidades de mangle en la laguna de Mecoacán en Tabasco mencionan la relevancia de los bosques de manglar como un recurso natural de alto valor potencial en la conservación de los ambientes costeros.

Botello, en 1981, mencionó la importancia de las lagunas costeras y estuarios como criaderos naturales de especies y como ecosistemas de alta productividad que actúan como reservas de contaminantes provenientes de los ríos, de la atmósfera y del mar. Asimismo, señala que en los litorales del estado de Tabasco existen ecosistemas lagunares como la laguna Carmen-Machona y la laguna Mecoacán, de gran importancia económica por las especies que ahí se desarrollan.

Botello, *et al.*, en 1981, evaluaron los niveles actuales de hidrocarburos disueltos en los sistemas lagunares del estado de Tabasco; encontraron evidencias para concluir que las lagunas de Mecoacán y Carmen Machona, se encuentran en un proceso de contaminación por hidrocarburos incipiente de tipo crónico pero sin llegar a alcanzar niveles subletales o letales.

En 1981, Castro señaló el interés económico que poseen las lagunas costeras al ser criaderos naturales de especies marinas, por la explotación comercial de algunas especies, como sitios de recreación y como depósitos de desechos. A este respecto reconoce que el incremento en la explotación de petróleo en el estado de Tabasco ha provocado serios problemas de contaminación en los cuerpos de agua de dicho estado.

En 1981, el Centro de Ecodesarrollo (CECODES) presentó un libro sobre las lagunas costeras de Tabasco; este libro es un resumen de los resultados de los estudios básicos coordinados por el CECODES en las lagunas litorales del estado de Tabasco. Tales investigaciones se refieren a la dinámica física y biológica de estos ecosistemas, a la cuantificación de hidrocarburos fósiles y metales pesados, al análisis histopatológico de ostiones (*Crassostrea virginica*) y a la cuantificación de microorganismos patógenos.

El Centro de Ecodesarrollo publicó en 1981 el resultado de una serie de estudios llevados a cabo en lagunas litorales, que comprendían aspectos de hidrología, productividad, contaminación y pesca.

Santoyo y Signoret realizaron, en 1981, un estudio sobre la productividad primaria planctónica y la hidrología de tres lagunas costeras del estado de Tabasco (lagunas Del Carmen, La Machona y Mecoacán).

Signoret *et al.*, en 1981, llevaron a cabo el análisis multifactorial de la producción planctónica de tres lagunas costeras de México. Intentaron demostrar teóricamente la relación existente entre diversos parámetros ambientales (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y nutrientes) y la cantidad de **clorofila a**, así como la influencia de esos mismos valores sobre la producción bruta en tres cuerpos lagunares costeros del sureste de México. Para ello utilizaron como metodología el análisis de variables múltiples, dentro del cual, las técnicas multirregresivas, de correlación múltiple y el análisis de componentes principales demostraron ser los más adecuados.

El Centro de Ecodesarrollo realizó trabajos de evaluación en el sureste mexicano los cuales tuvieron como meta servir de instrumento para la toma de decisiones en materia de política ambiental lo que les permitió compaginar el cumplimiento de los objetivos de los programas de

expansión de las actividades petroleras en dicha región con los de un desarrollo económico y social ambientalmente sano (Toledo, 1981).

Rodríguez y Romero, en 1981, evaluaron la calidad sanitaria del agua basándose en los niveles de contaminación bacteriológica en las lagunas de Balchacah, Puerto Rico y Boca de Atasta; encontraron evidencias de contaminación fecal y por consiguiente el riesgo de que los bancos ostrícolas localizados en las lagunas lleguen a contaminarse con bacterias causantes de enfermedades en humanos.

En 1982, Romero y Rodríguez efectuaron un estudio bacteriológico del agua en el sistema lagunar del Carmen-Machona con la finalidad de conocer los niveles de polución en dicha laguna. Encontraron altos niveles de contaminación coliforme en las zonas urbanas cercanas a la laguna, esto debido al aporte de aguas negras, a los desperdicios derivados de la pesca de subsistencia así como a los detritos orgánicos animales, que son llevados hacia las lagunas por el agua de lluvia.

Bañuelos, en 1982, investigó la variación estacional de las poblaciones bacterianas coliformes en muestras de sedimentos de las lagunas Carmen-Machona, Mecoacán y Tupilco del estado de Tabasco, al igual que las características fisicoquímicas de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, con objeto de deducir las implicaciones epidemiológicas de la contaminación bacteriana. Encontró una marcada variación en la densidad de las poblaciones bacterianas presentando además una estrecha relación con la variación de la salinidad del agua, deduciendo que estos sistemas estuarinos presentan un serio problema de contaminación fecal.

En 1982, López-Portillo llevo a cabo una investigación en relación a la ecología de manglares y de otras comunidades de halofitas en la costa de la laguna de Mecoacán. Encontraron que en los sitios cercanos a la boca de la laguna, las variaciones temporales de temperatura, insolación y el nivel de inundación influyen en la caída de las diferentes partes morfológicas que constituyen la hojarasca de *Avicennia germinans* lo que puede considerarse como indicador de la fenología de esta especie. En cuanto a los sitios alrededor de la laguna, los cambios en la diversidad, cobertura y fisonomía en los individuos de *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa* están relacionados con los intervalos de salinidad por ciclo anual y con otros factores, tales como el nivel de inundación y el grado de anaerobiosis.

En 1983, Valiente efectuó una breve descripción de las características hidrológicas y fisicoquímicas de las lagunas costeras. Analizó el ciclo de los nutrientes, el contenido de materia orgánica y a las comunidades de plantas asociadas a estos fenómenos (manglares y pastos marinos). Menciona la importancia que tienen estos ecosistemas como sitios de refugio y de reproducción de diferentes especies de peces y mariscos. Evaluó también la posibilidad de utilizar a las lagunas costeras para desarrollar en ellas actividades de acuicultura.

De Assis-Esteves *et al.*, en 1983 llevaron a cabo un estudio limnológico en diez lagunas litorales en Río de Janeiro. Los parámetros que estudiaron fueron: en la columna de agua (disco de Secchi, temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, oxígeno disuelto, carbonato, alcalinidad total y los nutrientes más importantes), en sedimentos (contenido de materia orgánica y los principales nutrientes) y en macrofitas acuáticas (compuestos químicos inorgánicos).

Observaron una gran variación del pH (2.7-8.2) y de la conductividad eléctrica en las lagunas estudiadas. Clasificaron a las lagunas como oligohalinas y mesohalinas. El análisis químico del agua y de los sedimentos mostraron la pobreza de estos ecosistemas en cuanto a los nutrientes esenciales para la producción primaria. Basándose en la salinidad y en el contenido de las sustancias húmicas, dividieron a las lagunas en cuatro grupos: 1) lagunas salobres y de aguas transparentes, 2) lagunas salobres y de aguas negruzcas, 3) lagunas de agua dulce y de aguas transparentes y 4) lagunas de agua dulce y de aguas negruzcas.

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) en 1984, llevo a cabo visitas de inspección y vigilancia a industrias en las principales ciudades del sureste de la República como Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán con la finalidad de disminuir las descargas de aguas residuales en los cuerpos de agua superficial; ésto debido a que son ciudades de gran importancia industrial o turística, por lo que se necesita preservar sus recursos acuíferos. La SEDUE menciona la conveniencia de realizar estas visitas con mayor frecuencia, para que se tenga un mejor control sobre la contaminación de los cuerpos receptores.

En México, la mayor parte de los recursos hidráulicos están concentrados en la porción sureste de nuestro territorio, donde la gran abundancia y la demanda comparativamente pequeña del vital elemento, resultan en un notable desaprovechamiento del mismo, aún más si este recurso esta contaminado por hidrocarburos. Es por esta razón que la SEDUE efectuó un estudio de percepción remota para la identificación de contaminantes por hidrocarburos en el estado de Tabasco en donde mencionan los efectos causados por estos contaminantes en la laguna Mecoaacán y en las áreas cercanas a esta (SEDUE, 1984).

En 1985, Contreras efectuó un estudio sobre las características de las lagunas costeras (geológicas, hidrológicas, químicas, ecológicas, etc.), asimismo se hace énfasis en los problemas de contaminación que enfrentan dichos cuerpos de agua.

Ktari-Chakroun y Romdhane en 1985 estudiaron algunos parámetros fisicoquímicos como la temperatura, la salinidad y el oxígeno disuelto en la laguna Ghar El Mgell, así como la influencia del clima sobre las variaciones de estos parámetros.

López-Portillo y Ezcurra en 1985 midieron en intervalos mensuales, la caída de cuatro componentes morfológicos de *Avicennia germinans* L. a lo largo de un transecto en manglar monoespecífico, en la laguna de Mecoaacán.

La laguna de Mezcaltitán, importante en décadas pasadas por sus recursos camaroneros y ostrícolas, ha disminuido su pesca posiblemente debido a la influencia de diversos factores: azolvamiento de las bocas marinas, asentamientos humanos, agricultura y mal manejo. Esta situación condujo a realizar una evaluación ambiental la cual mostró que existen las condiciones adecuadas para el sostenimiento y desarrollo de sus comunidades. Sin embargo, aquellos compuestos ajenos al propio sistema lagunar han modificado en gran medida al sistema lagunar, azolvando y modificando las bocas efimeras (De la Lanza, 1986).

De la Rosa en 1986 estudió la variabilidad genética poblacional en ostiones de la especie *Crassostrea virginica* en las lagunas de Madre, Pueblo Viejo, Tamiahua, Mancha, Sontecomapan, Carmen, Mecoacán y Términos del Golfo de México.

Resalta la importancia de las lagunas costeras de Tabasco (Mecoacán y Carmen-Machona) como centros de producción ostrícola y pueden estar en peligro debido a los asentamientos humanos, la agricultura y el desarrollo de la industria, entre la cual destaca la petrolera. Debido a esto, se realizó una evaluación hidrológica de las lagunas, cuyos parámetros tales como la temperatura, el pH y los nutrientes, en general mostraron condiciones adecuadas para el sostenimiento y desarrollo de sus comunidades (Salas, 1986).

Romero *et al.*, en 1986 efectuaron un estudio sobre los niveles de contaminación enterobacteriana (coliformes totales y fecales) en la laguna de Términos, Campeche. Los autores indican que dicha laguna puede considerarse un ecosistema no contaminado, en lo que se refiere a hidrocarburos fósiles, sin embargo, los desechos de las zonas ganaderas así como los escurrimientos de aguas negras constituyen una fuente potencial de contaminación orgánica que podría repercutir en las pesquerías de especies comerciales del área ya que estas representan una importante fuente de alimentos que se consumen tanto a nivel regional como nacional; por lo que es importante considerar los efectos que tendrían los moluscos, peces y crustáceos como transmisores de enfermedades gastrointestinales cuando se desarrollan en aguas contaminadas.

En 1986 James y Najmuddin efectuaron un estudio sobre las características físico-químicas en la laguna Pillaimadan y la relación que estos puedan tener sobre las variaciones en la abundancia de peces cultivados en la laguna. Realizaron observaciones sobre los cambios en la profundidad, dirección del movimiento del agua dentro y fuera de la laguna, temperatura atmosférica y de la superficie del agua, salinidad, oxígeno disuelto y pH. Estas observaciones las compararon con observaciones previas de la laguna.

Lobo *et al.*, en 1986, investigaron la variación espacio-temporal de las características físicas y químicas del agua en el estero Mantagua, Chile. Estudiaron en tres diferentes periodos del año la alcalinidad, el contenido de oxígeno, el pH, los fosfatos y la temperatura. Encontraron que la estructura medio ambiental de los componentes del sistema de desembocadura del estero (la laguna costera, el brazo del mar y los principales canales) cambian en el espacio y en el tiempo. Lo anterior lo explicaron considerando los regímenes climáticos los cuales son una característica importante del área estudiada así como también a la formación de un banco de arena anual que se presenta durante el verano.

En 1986, Gómez y Resendez investigaron la hidrología del sistema de lagunas costeras Carmen-Machona-Redonda. Se menciona en su estudio que este sistema lagunar representa una superficie de aproximadamente 18,000 hectáreas para la acuicultura; asimismo, la laguna es objeto del manejo y desarrollo de técnicas orientadas al incremento de su productividad, desde principios de los años setentas.

De León efectuó el diagnóstico microscópico de los parásitos del ostión *Crassostrea virginica* de la laguna Mecoacán (De León *et al.*, 1987).

Lizárraga-Partida *et al.*, en 1987, cuantificaron las fluctuaciones estacionales de las poblaciones bacterianas y caracterizaron a las bacterias heterótrofas de la laguna de Términos. El interés de los autores por caracterizar fisiológicamente a estas poblaciones bacterianas, radica en su potencialidad de servir como inóculo natural en el área de las plataformas petroleras de la Sonda de Campeche, y así contribuir al intemperismo del petróleo crudo.

Pineda y Schafer en 1987 efectuaron un estudio sobre los métodos de evaluación y de los criterios de la calidad del agua adaptados a las aguas superficiales basado en los estudios ecológicos del río Gravatai y el río Grande do Sul, en Brasil. Desarrollaron su investigación utilizando perfiles longitudinales de temperatura y oxígeno. Determinaron la demanda bioquímica de oxígeno, efectuaron análisis microbianos y la evaluación de la fauna especialmente de los moluscos y de las poblaciones de macrofitas. Estudiaron la eficiencia de la calidad del agua superficial por medio de la clasificación del déficit de oxígeno el cual fue utilizado para describir los aspectos físicos y químicos, mientras que el déficit de las especies y su similitud lo utilizaron como un criterio biológico. Mencionan que el estudio de la temperatura y el oxígeno les mostró que la contaminación por materia orgánica modifica el balance del oxígeno. El índice de similitud les indicó las posibilidades que existen para definir un criterio biológico.

Balogun investigó, en 1987, los aspectos fisicoquímicos de la laguna Epe. Esta laguna se localiza en el estado de Lagos y Likki; esta alimentada por el río Oshun y al igual que las lagunas Lagos y Likki, la laguna Epe se comunica con el Golfo de Guinea por medio del Puerto Lagos.

Rodríguez y Botello (1987) evaluaron la contaminación enterobacteriana mediante conteos de bacterias patógenas como salmonelas, vibrios y estafilococos así como de bacterias coliformes fecales y totales en la red de agua potable y en algunos sistemas acuáticos del sureste de México - en los ríos Coatzacoalcos y Tonalá y en la laguna del Ostión, Veracruz-. Se menciona que los conteos de bacterias coliformes pueden utilizarse como índices de contaminación por aguas negras o desperdicios de los asentamientos urbanos establecidos en áreas costeras. Encontraron que el agua y los sedimentos de ríos y lagunas, se encuentran contaminados con bacterias de origen fecal debido a las descargas de aguas negras que reciben sin tratamiento desinfectante.

Galavíz-Solís *et al.*, en 1987 evaluaron la morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas Dos Bocas y Mecoacán en Tabasco, México. Señalan el hecho de que ambas lagunas están relacionadas con los procesos de sedimentación terrígenos del delta del río Mezcalapa. La comunicación entre las lagunas y el Golfo de México se da a través de una amplia boca limitada por dos barreras litorales formadas por dos antiguos cordones de playas y por dunas. En cuanto a la laguna Mecoacán, ésta presenta una forma alargada, con su eje principal paralelo al litoral; profundidad media de 1.20 m con valores máximos de hasta 3.0 m en la barra Dos Bocas y 5.0 m en el canal natural El Bellote. El piso lagunar es sensiblemente llano y tiene abundantes bancos orgánicos.

García, en 1988, realizó una investigación en la laguna de Mecoacán con el objeto de contribuir al conocimiento de la fauna sésil asociada a las raíces de mangle rojo *Rhizophora mangle* Linneo,

así como para conocer la influencia de los parámetros fisicoquímicos sobre el desarrollo y comportamiento de dicha fauna.

Baleux *et al.*, en 1988 efectuaron un estudio sobre el destino de los indicadores de contaminación y de las bacterias patógenas de origen continental en el agua, los sedimentos y las áreas de reproducción de los mariscos en una laguna salobre. Este estudio se debió a la necesidad de conocer la evolución o el desarrollo de la contaminación bacteriana continental después del derrame de aguas negras urbanas en la laguna de agua salobre Thau en la que se desarrollan los mariscos. Indicaron que investigaciones previas les proporcionaron una base para evaluar las estrategias de muestreo óptimas para llevar a cabo un estudio espacio-temporal de los niveles de contaminación bacteriana en los moluscos, en el agua y en los sedimentos evaluando a los coliformes totales, coliformes fecales, *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas* spp. Concluyeron que el gradiente espacial de las concentraciones bacterianas en el derrame de aguas tratadas en la laguna se debe principalmente a los efectos de los factores físicos (dilución, sedimentación, etc.). Asimismo, indicaron que los niveles de supervivencia de las diversas bacterias consideradas en el estudio de esta área es la siguiente: *Pseudomonas aeruginosa* mayor que *estreptococos fecales* mayor que *coliformes fecales* mayor que *Aeromonas* spp.

En 1989 González llevo a cabo el análisis ictioplanctónico de las familias *Engraulidae* y *Clupeidae* en la zona costera del sur del Golfo de México y su relación con diversos parámetros abióticos.

Cruz-Orozco *et al.*, en 1989 realizaron una investigación sobre las características fisicoquímicas de la columna de agua de la laguna La Paz, como la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH así como de las propiedades de los sedimentos. También evaluaron los efectos de las actividades humanas sobre la línea de costa. Concluyeron que la línea de costa es frágil y la temperatura del agua esta directamente relacionada con la radiación solar con temperaturas de 29.5°C en la mañana y de 31.5°C en las primeras horas de la noche. Los valores de salinidad se vieron afectados por las descargas municipales de aguas negras o residuales (valores promedio de 36-37 ppt, excepto en el sur de la laguna en donde se registraron los valores más bajos), los valores de oxígeno disuelto y pH no mostraron una distribución definida. Mencionan que la zona sur de la laguna refleja el impacto de las actividades de la Ciudad de La Paz. Los fosfatos y los silicatos se concentraron en las cercanías del fondo del agua y las concentraciones de nitratos y nitritos fueron mucho menores en diciembre que en los tres meses posteriores en la superficie del agua. Mencionan que el comportamiento de los metales traza mostró que la mayor parte de los mecanismos de transporte entre las principales fases del sistema (disuelta-particulada-sedimentos) fue severamente perturbada.

La distribución y la biomasa de las macrofitas en una laguna hipersalina (el Mar Menor, al SE de España) y su evolución reciente tomando en cuenta los principales cambios ambientales fueron el objeto de estudio de Pérez-Ruzafa *et al.*, en 1989.

En 1990 Arenas-Fuentes y De la Lanza evaluaron los efectos de los procesos fisicoquímicos y las actividades bióticas sobre el intercambio de nutrientes en la interfase agua-sedimento en una típica laguna costera.

El estudio de Kouassi *et al.*, en 1990 se centró en las variaciones estacionales de la contaminación microbiana de la zona urbana de una laguna tropical estuarina, principalmente en el caso de la población de Abidján, Costa de Marfil. Estimaron las características físicas (salinidad, pH y temperatura) del agua, así como, la estimación de la contaminación orgánica, lo que complementaron con estudios bacteriológicos de *Escherichia coli*, *Enterococos* y *C. perfringes*. Remarcaron que debido a que este ambiente es naturalmente eutrófico, las aguas negras de la ciudad de Abidján han provocado una hipereutroficación y un incremento importante de la contaminación fecal, principalmente en la superficie del agua de la laguna. Asimismo, mencionan que las variaciones temporales de *E. coli* y *Enterococos* están relacionados directamente a las variaciones de salinidad del agua, las cuales están al mismo tiempo en función de la importancia de la entrada fluvial y de la cantidad de lluvia de los aguaceros.

García-Cubas *et al.*, en 1990, llevaron a cabo un estudio sobre los moluscos de la laguna Mecoacán, Tabasco; éste se basó en el reconocimiento taxonómico, distribución y tipo taxonómico de las distintas especies de moluscos, así como en su papel ecológico en las distintas comunidades. Mencionan datos importantes sobre la ubicación, hidrografía, batimetría, corrientes, mareas, sedimentos, clima y salinidad de la laguna Mecoacán.

De Casablanca-Chassany *et al.*, en 1990, llevaron a cabo un análisis de componentes principales para conocer las relaciones que existen entre las variables fisicoquímicas en una laguna mediterránea (Lago Mellah, Argelia). Determinaron las relaciones más importantes entre variables como la salinidad, silicato, oxígeno, temperatura, fosfatos y nitratos. Encontraron que la variación de los parámetros fosfato y temperatura marcó el contraste entre los periodos de calor y frío mientras que la variación de los parámetros silicato y salinidad marcó el contraste o la diferencia entre los meses de baja o alta salinidad. Mencionan que los mecanismos que tienen lugar en la laguna afectan los ciclos de los nutrientes.

En 1990 Salvadares y Resendez investigaron los cambios en la composición ictiofaunística del sistema lagunar El Carmen-Machona en Tabasco por la apertura de Boca de Panteones. Esto debido a que este sistema lagunar ha sufrido importantes cambios en su biota desde la apertura de un canal artificial entre el mar y la laguna Machona, llamada Boca de Panteones. Los autores compararon en dos diferentes periodos (1977-1979 y 1986-1988), la composición de las comunidades de peces para establecer las posibles diferencias. Remarcaron que en la laguna está ocurriendo la sustitución ecológica de las especies. En la laguna se ha incrementado el número de las especies marinas estenohalinas y han disminuido las especies estuarinas temporales o permanentes. También las condiciones fisicoquímicas de la laguna mostraron una tendencia hacia el medio ambiente marino a partir de la apertura de este canal artificial.

En 1990, Recio-Espejo consideró las relaciones que existen entre algunos factores medio ambientales tales como la geología, hidrología, intensidad de la lluvia y características fisicoquímicas del agua, agua subterránea, sedimentos, sales y materiales acarreados por el agua de lluvia en la laguna de El Conde, Luque, Córdoba. Esto les permitió efectuar un estudio profundo sobre el origen y la dinámica temporal de este ecosistema.

En 1990 Guiral *et al.*, estudiaron los efectos de la reducción anual del gradiente de la densidad sobre la hidrología y geoquímica de la Bahía Viteri (laguna Ebrie, Costa de Marfil). Efectuaron mediciones sobre temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, potencial redox, N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃ y P-PO₄. Incluyeron datos sobre los ciclos de las mareas y de la temperatura de la superficie del agua.

De Aznar *et al.*, en 1991 analizaron los diversos parámetros físico-químicos y bacteriológicos relacionados con la calidad del agua en una laguna hipereutrófica (Lago Albufera, Valencia, España). Examinaron por medio de un análisis de componentes principales las relaciones entre los parámetros utilizados para evaluar la calidad del agua.

De Casablanca-Chassany *et al.*, en 1991 efectuaron una investigación espacio-temporal de los nutrientes y de las principales variables hidrológicas en una laguna costera mediterránea (Lago Mellah, Argelia). La importancia de esta laguna típicamente mediterránea es debida principalmente a la carencia excepcional del nitrato como contaminante así como a los prolongados periodos de estratificación. Evaluaron variables fisicoquímicas como temperatura, salinidad, O₂, Si-SiO₂, N-NO₃, N-NO₂, N-NH₄, P-PO₄ y las concentraciones de clorofila a. Encontraron que el mar juega un papel limitado en la laguna debido esencialmente a los mecanismos internos de la laguna de los que dependen los ciclos de los nutrientes.

Monfort y Baleux en 1991 observaron la distribución espacio-temporal de la bacteria *Aeromonas* spp. y de los coliformes fecales en una ensenada receptora de los efluentes de los tratamientos de aguas negras y del drenaje dentro de una laguna salobre. Encontraron que las distribuciones de *Aeromonas* spp. y de los coliformes fecales mostraron ciclos estacionales en los efluentes del cuerpo de agua. Sin embargo, los niveles de abundancia de estas distribuciones bacterianas disminuyen gradualmente desde la costa hasta la entrada de la laguna. Observaron mediante un modelo de dilución que la distribución de las bacterias *Aeromonas* spp. y de los coliformes fecales en el agua de la laguna están sujetos tanto a los efectos de la dilución como a otros factores ambientales, como la salinidad.

En 1991 Alvarado y Granados llevaron a efecto un estudio sobre las jaibas del género *Callinectes* de la laguna Mecoacán. Se menciona que en México existen varios tipos de crustáceos de importancia económica dentro de los que destacan las jaibas del género *Callinectes*. En especial en el estado de Tabasco son capturadas en lagunas costeras como la laguna Mecoacán, donde constituyen una fuente de alimentación e ingresos para los pescadores de la región.

En 1992 Granados llevo a cabo un estudio sobre la composición de los grupos del zooplancton, crustáceos, moluscos y peces de la laguna de Mecoacán. Se menciona a la laguna como una de las lagunas costeras del estado de Tabasco, cuya actividad primordial es la captura del ostión (*C. virginica*), pero también se extraen peces, crustáceos y otros moluscos. En cuanto a la composición faunística, el zooplancton estuvo representado por 6 grupos, los crustáceos y los quetognatos fueron los más representados. De los crustáceos se obtuvieron 26 especies de estas se encuentran *C. similis*, *C. sapidus*, *C. rathbunae*, *P. setiferus* y *C. vittatus*. De los moluscos se obtuvieron 2 clases y 43 especies, de los gasterópodos fueron 17 especies y estuvieron

representados por *Cerithidea pliculosa*, *Neritina virginea* y *N. reclivata*. De los bivalvos se identificaron 31 especies siendo las especies más representadas por *Mulinia lateralis*, *Crassostrea virginica* e *Ischadium recurvum*. De los peces se capturaron 49 especies, de las cuales las más importantes fueron *D. rhombeus*, *E. gula*, *A. melanopus*, *D. auratus*, *A. hepsetus* y *L. griseus*.

En la laguna de Mecoacán realizan sus actividades pesqueras tres cooperativas que cuentan con permisos para la extracción del ostión, jaiba, tiburón y de escama en general, pero no se sabe con precisión la procedencia de sus capturas pues sus permisos abarcan también el litoral del Golfo de México, es por esta razón que Granados *et al.*, en 1992 efectuaron un estudio sobre la fauna acuática de este cuerpo de agua.

En el estado de Tabasco existen varias lagunas costeras donde la actividad principal es la captura del ostión y, considerando que la fauna malacológica juega un papel importante en estos sistemas por su importancia comercial, Granados *et al.*, en 1992 llevaron a cabo un estudio en la laguna de Mecoacán para determinar la distribución y abundancia de los moluscos así como para caracterizar ecológicamente a la laguna de Mecoacán de acuerdo a la temperatura, oxígeno disuelto y la salinidad del agua.

Bouchriti *et al.*, en 1992 realizaron un análisis de la contaminación microbiológica de un área de crecimiento de ostiones en la laguna Cualida, Marruecos. Encontraron que la contaminación de la laguna tiende a incrementarse desde el invierno hasta el verano por lo que la contaminación de este cuerpo acuático es intermitente. También indicaron que las actividades recreativas humanas y el abono animal, proveniente de las actividades agrícolas en los alrededores de las áreas de crecimiento de los ostiones, es una fuente muy importante de contaminación. La principal fuente de contaminación fue de origen animal excepto durante el verano en donde prevaleció la de origen humano.

Li-Petrus *et al.*, en 1992 presentaron un análisis de los diversos aspectos concernientes al estudio de la Albufera de Minorca, la laguna costera más importante de las islas Baleares debido a la extensión de sus aguas de un poco más de 70 hectáreas. Los autores consideraron aspectos como la heterogeneidad temporal y la composición del zooplancton, entre otros.

En 1992 Rebelo estudió la ictiofauna y el medio ambiente abiótico hidrológico del sistema lagunar costero estuarino Ria de Aveiro, en Portugal. Dentro de los parámetros abióticos hidrológicos se menciona la temperatura, con valores que fluctuaron entre 9.5 y 26°C; la salinidad, con valores entre 0.0 y 32.0 ppt; el oxígeno disuelto con valores entre 0.8 y 15.4 mg/l; el pH con valores entre 6.1 y 9.4; y la transparencia, con valores entre 4.4 y 100%.

Bouchriti *et al.*, en 1992 llevaron a cabo una investigación bacteriológica en un área de crecimiento, crianza y cultivo de ostiones en Marruecos. Encontraron que la contaminación de este ecosistema no es continua sino intermitente, además de que las fuentes de contaminación son el abono animal proveniente de las actividades agrícolas, así como de las actividades humanas recreativas. Finalmente, concluyeron que la mayor fuente de contaminación fue de origen animal, excepto en el verano, cuando predominó la contaminación de origen humano.

Contreras en 1993 efectuó una revisión bibliográfica sobre los principales ecosistemas acuáticos litorales mexicanos.

Greenwald y Hurlbert en 1993 llevaron a cabo un análisis de los efectos de la salinidad sobre el plancton en la laguna costera San Dieguito en la ciudad de San Diego, California.

Millet y Guelorget en 1993 evaluaron las relaciones que existen entre las comunidades del bentos y el medio ambiente físico en un ecosistema lagunar (laguna Thau). Mencionan que esta laguna se distingue de otras lagunas mediterráneas por la aparente complejidad de su medio ambiente físico.

En 1993 Valdez-Holguin y Martínez-Cordova investigaron los factores que influyen sobre la variabilidad de algunos parámetros fisicoquímicos en la laguna La Cruz, Sonora, México. Dentro de su estudio también consideraron a la productividad primaria de dicho cuerpo de agua.

En 1993 Domínguez y Castillo realizaron una investigación sobre el estado actual del estrato arbóreo y algunos aspectos fisicoquímicos de los manglares de la laguna de Mecoacán ya que la vegetación de manglar en la zona costera tiene valor ecológico, económico, cultural y científico, por ser un ecosistema tropical productivo. Encontraron tres especies de mangle, siendo *Avicennia germinans* la especie dominante. Las concentraciones de cloro y la conductividad eléctrica están afectando el dominio de esta especie en los sitios más perturbados.

En 1993 Flores investigó la distribución espacio-temporal de los estadios inmaduros de camarones (*Crustacea: Penaeidae*) en la laguna de Mecoacán, a partir del análisis de la heterogeneidad física del habitat considerando la presencia o ausencia de la vegetación sumergida y de los factores abióticos de temperatura y salinidad.

Cioffi *et al.*, en 1994 evaluaron las características físicas, químicas y biológicas más importantes en la columna de agua y en los sedimentos en la laguna Valli di Comachio con el objeto de describir los fenómenos que son responsables de la anoxia en el agua.

Ake *et al.*, en 1994 evaluaron la morfología y distribución de especies de la diatomea del género *Skeletonema* en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, en el Golfo de México.

Camacho *et al.*, en 1994 estudiaron el ciclo circadiano del fitoplancton de la laguna de Sontecomapan, Veracruz.

Díaz *et al.*, en 1994 llevaron a cabo una investigación acerca de la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) disueltos en la laguna de Mecoacán, Tabasco, México.

En 1994 De la Lanza y Gómez estudiaron el fitoplancton y los nutrientes en la laguna de Mecoacán. Dentro de los resultados del análisis de nutrientes, indicaron una pobreza de nitrógeno y un predominio de los ortofosfatos en dicho cuerpo acuático.

Dassenakis *et al.*, en 1994 estudiaron las características químicas de la laguna Aetoliko ubicada en la región occidental de Grecia después de un choque o impacto ecológico a finales de noviembre de 1990, el cual provocó una mortandad masiva de peces. Estudiaron una serie de parámetros químicos en el agua, en la materia orgánica y en los sedimentos de este cuerpo acuático. Concluyeron que las condiciones permanentemente anóxicas en la capa profunda de la laguna con la formación de sulfuro de hidrógeno es la característica más importante del sistema. Además, la dramática reducción del oxígeno disuelto, el cual fue substituido por el sulfuro de hidrógeno de la capa profunda del agua ocasionando la muerte repentina de los organismos. Este fenómeno también afecta a los nutrientes provocando que el amoniaco fuera la forma del nitrógeno de mayor importancia.

Salot *et al.*, en 1994 analizaron los compuestos lipídicos disueltos, particulados y sedimentarios en muestras colectadas en mayo de 1988 en tres sitios de la laguna de la isla de coral de Takapoto (archipiélago Tuamotu, Polinesia francesa). El estudio proporciona amplia información sobre la calidad del agua así como de la naturaleza y de la concentración de los lípidos.

Valenzuela y Gómez en 1994 estudiaron a los copépodos del plancton del sistema lagunar de Mecoacán.

Herrera-Silveira realizó correlaciones de parámetros hidrobiológicos de la laguna de Celestún en Yucatán, tomando en cuenta el contexto espacio-temporal a que están sujetos los parámetros hidrobiológicos. Menciona que los análisis estadísticos de correlación son útiles para encontrar el grado de asociación dentro de una serie características hidrobiológicas, lo que permite hacer predicciones sobre el comportamiento del ecosistema debido a que los cambios en estos parámetros permiten conocer la estructura y dinámica de los ecosistemas costeros así como de los recursos que se hallan asociados a ellas, es decir, las interacciones entre diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos de un sistema varían de acuerdo con los cambios en las condiciones ambientales globales, lo cual favorece también los cambios estacionales en la presencia, abundancia y distribución de los organismos. Finalmente enfatiza que este estudio es importante debido a que la laguna de Celestún es considerada reserva ecológica por albergar una gran cantidad de aves y reptiles en peligro de extinción (Herrera-Silveira, 1994).

Stukova y Sileryte en 1994 describieron el estado del bacterioplancton tomando en cuenta la base de datos que obtuvieron durante los trece años que duró su investigación en la bahía Curonian. Asimismo, evaluaron la calidad del agua y determinaron el nivel trófico de la laguna. Encontraron que se establecieron correlaciones entre los diferentes parámetros, como en el caso de las correlaciones entre el número de bacterias, la temperatura, el fósforo total y el nitrógeno (NO_3). Sin embargo, encontraron que las correlaciones entre el resto de los parámetros bacteriológicos e hidroquímicos fueron complicadas y abigarradas. De la misma manera, la comparación de los resultados de sus investigaciones microbiológicas de los últimos trece años les indicaron que se ha dado una disminución en la abundancia microbiana y en el nivel trófico del agua de esta bahía.

Seoanez en 1995 menciona la importancia de los parámetros de calidad de las aguas ya que permiten evaluar los cambios que las diferentes aplicaciones del agua pueden originar en su calidad. También señala que la calidad del agua debe definirse en relación con el uso o actividad a la que se le quiere dedicar, por lo que cada actividad exige una calidad adecuada.

Ramírez *et al.*, en 1995 determinaron el nicho ecológico de *Vibrio cholerae* en ambientes salobres y su importancia epidemiológica.

Gersberg *et al.*, en 1995 estudiaron la apertura de un canal artificial en una laguna costera en California y su efecto sobre la calidad del agua en las aguas oceánicas recreativas adyacentes. Se menciona el hecho de que la calidad del agua fue impactada de manera negativa después de la apertura del canal y de algunos eventos lluviosos importantes en la laguna San Elijo.

Las microalgas estuarinas del litoral mexicano del Golfo de México, en especial las de las lagunas Madre, Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco, Sontecomapan, Mecoacán y del estuario de Tuxpan fueron el objeto de estudio de Orozco-Vega y Dreckman en 1995.

Bebianno en 1995 llevo a cabo un estudio sobre los efectos de los contaminantes en la laguna Ria Formosa, Portugal. Indicó que la laguna Ria Formosa es un área muy importante desde el punto de vista de la pesca, particularmente con respecto al cultivo de los moluscos considerados como mariscos. En esta laguna costera han aumentado rápidamente los niveles de las descargas de contaminantes de origen antropogénico transportados por aguas negras sin tratar y por los efluentes de origen industrial y agrícola. Detectó niveles altos de bacterias, nutrientes, metales y compuestos organoclorados en la columna de agua, así como también de sólidos suspendidos y sedimentarios en diferentes áreas de la laguna, principalmente en las zonas cercanas a las ciudades importantes. Además, estos contaminantes se acumulan en los tejidos de las diferentes especies de bivalvos. Esta acumulación de contaminantes junto con el aumento en la temperatura en el verano da como resultado efectos deletéreos en estas especies lo cual significa un peligro potencial para el hombre que consume estos productos.

Guyoneaud *et al.*, en 1996 efectuaron una investigación para determinar la densidad poblacional y la diversidad de especies de los diferentes grupos de bacterias fotótrofas anóxicas en una laguna costera eutrófica del mediterráneo francés (laguna Prevost) y en las costas del Atlántico (Bahía Arcachon y el vivero Cetes).

Herrera-Silveira, en 1996 llevo a cabo un estudio en el que describe la dinámica de los nutrientes en una laguna costera tropical, afectada por la infiltración de aguas subterráneas frías ricas en nutrientes. Describió la variación espacio-temporal de las características fisicoquímicas (temperatura, salinidad, oxígeno) y nutrientes (nitrato, amonio, silicato reactivo soluble, fósforo reactivo soluble), así como los cambios de estos con respecto a las condiciones del tiempo.

Rysgaard *et al.*, en 1996 evaluaron las variaciones estacionales y diurnas en el agua y los sedimentos de los flujos de O_2 , NO_3^- y NH_4^+ , así como los niveles de nitrificación, desnitrificación y la amonificación del nitrato en dos lagunas costeras del sur de Francia: Bassin d'Arcachon y Etang du Prevost.

Gold *et al.*, en 1996 evaluaron la degradación ambiental de la zona costera del estado de Tabasco. Asimismo investigaron otras fuentes de contaminación además de la industria petrolera, como plaguicidas, metales traza, concentración de hidrocarburos y organoclorados. Encontraron bajas concentraciones de contaminantes en sedimentos y ostiones.

La bioquímica de los sedimentos del manglar en diferentes comunidades del bosque de manglar en la bahía Gazi, en una laguna costera en Kenya, Africa, fue el objeto de estudio de Middelburg *et al.*, en 1996. Evaluaron los flujos de dióxido de carbono, el tamaño medio del grano de los sedimentos, el carbono orgánico sedimentario, el contenido de fósforo y nitrógeno y las características más importantes del agua (amoníaco, nitratos, sulfatos y cloruros), los cuales pueden estar relacionados con el tipo de bosque.

Castel *et al.*, en 1996 describieron las condiciones de eutroficación en tres sistemas lagunares diferentes por su estructura, su área de captura de peces y sus conexiones con el mar: la laguna Bassin d'Arcachon en la costa Atlántica, el vivero semi-artificial de la laguna Bassin d' Arcachon y la laguna Etang du Prevost en el Mediterráneo.

Flahuat *et al.*, en 1997 mencionan a los enterococos como buenos indicadores de contaminación fecal de origen humano o animal de los medios acuíferos.

Méndez en 1997 estudio los poliquetos asociados a fondos blandos con influencia de actividades humanas en dos localidades del complejo lagunar de Topolobampo, Sinaloa. Analizó la composición faunística, el contenido de materia orgánica y el tamaño de grano de sedimento frente a la ciudad de Topolobampo y en la bahía de Ohuira. Sus análisis de dominancia, frecuencia y correlación le indicaron que no existen gradientes de contaminación en las zonas estudiadas; sin embargo, observó una ligera perturbación en la bahía de Ohuira, donde los contenidos de materia orgánica son altos, la diversidad específica es baja y *Streblospio benedicti* es dominante y frecuente a lo largo de todo el perfil. Esto le sugirió que la mezcla de desechos tanto domésticos como agrícolas producidos en Ohuira son más dañinos para la fauna de poliquetos que los desechos domésticos producidos frente a la ciudad de Topolobampo.

Lugioyo, Bellota y Miravet en 1999 determinaron la biomasa bacteriana en la superficie, en el inicio de la termoclina y al final de la capa fótica en las aguas oceánicas al sur de Cuba.

Pérez-Castañeda y Herrera-Dorantes en 1999 identificaron cuatro especies de camarón (*Farfantepenaeus aztecus*, *F. brasiliensis*, *F. duorarum* y *F. notialis*) en la laguna de Celestún, Península de Yucatán. El estudio constituyó un nuevo registro geográfico de *F. notialis* en lagunas costeras del Golfo de México. Conforme a este descubrimiento, se menciona a la Península de Yucatán como parte del área de distribución geográfica de *F. notialis*.

Morales-Soto *et al.*, en el 2000 estudiaron el cambio diurno y estacional de algunas variables fisicoquímicas y de la clorofila *a*, en la laguna La Cruz, Sonora, México. Determinaron los factores que causan variabilidad en la temperatura ambiental y superficial del mar, oxígeno

disuelto y clorofila **a**, en períodos cortos (ciclos diurnos) así como la tendencia estacional. Estimaron la productividad primaria mensualmente. Encontraron que en períodos cortos, la variabilidad de la temperatura esta determinada por el ciclo diurno de la temperatura ambiental y de la marea. El oxígeno disuelto varió principalmente por el efecto de la temperatura y de la marea. La variabilidad de la clorofila **a**, estuvo determinada por la marea. Mencionan que la tendencia estacional de la temperatura sugiere dos temporadas del año bien definidas, la temporada fría, de diciembre a abril, con temperaturas promedio de 17°C y cálida, de junio a octubre, con temperaturas promedio de 30°C; mayo y noviembre fueron meses de transición. Durante el ciclo anual el oxígeno disuelto fluctuó en relación inversa con la temperatura. La clorofila **a**, y la productividad primaria presentaron sus valores máximos en verano, y valores mínimos durante el invierno, debido a una probable limitación de nutrientes.

Gárate-Lizárraga *et al.*, en el 2001 estudiaron la variación de las asociaciones fitoplanctónicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. Mencionan que el patrón de la temperatura superficial del sistema resultó ser característico de lagunas templadas, con una temporada cálida de junio a octubre y una fría de noviembre a mayo. Los valores máximos de abundancia fitoplanctónica los registraron durante la temporada fría, mientras que la temporada cálida presenta valores bajos. El área de estudio se localiza en una zona de transición subtropical, influenciada por aguas tropicales y templadas, lo que determina la presencia de especies de afinidades tropicales y templadas. Mencionan que las variaciones interanuales en las estructuras de las asociaciones fitoplanctónicas están determinadas por una compleja interacción de factores hidrológicos. Esta variación esta además afectada por eventos como El Niño/La Niña, que se combinan para determinar los cambios en las asociaciones de fitoplancton de manera común, más que como eventos anómalos.

Actualmente en el Proyecto de Conservación y Mejoramiento del Ambiente se realiza un estudio sobre “Posición de *V. cholerae* en un circuito microbiano: datos ambientales vs. un estudio experimental”. Este estudio forma parte de dicho proyecto y esta enfocado sólo a lo referente a la calidad del agua.

4.2 CALIDAD DEL AGUA

El agua es una de las sustancias más abundantes e importantes de la Tierra; sostiene a las plantas y a la vida animal, desempeña un papel importante en la formación del clima, ayuda a dar forma a la superficie del planeta, mediante la erosión y otros procesos, y cubre aproximadamente el 70% de la superficie de la Tierra.

El agua circula continuamente entre la superficie de la Tierra y su atmósfera en un proceso que se denomina ciclo hidrológico, siendo éste uno de los procesos básicos de la naturaleza. El agua del mar, de los ríos, de los lagos, del suelo y de la vegetación, al responder al calor del sol y a otras influencias, se evapora en el aire y se convierte en vapor de agua. Este vapor asciende a la atmósfera, se enfría y se convierte en agua líquida o hielo, formando las nubes. Cuando estas gotas de agua o cristales de hielo alcanzan el tamaño suficiente, regresan a la superficie de la tierra en forma de lluvia o de nieve. Ya en la superficie, pasa por la siguiente situación: una parte

se filtra en el suelo donde puede ser absorbida por las plantas o circula hacia los depósitos de agua subterránea; otra porción es arrastrada por los arroyos y ríos hasta llegar finalmente al mar y una última porción se evapora.

El agua de un lago, la nieve de una montaña, el aire húmedo o las gotas de rocío de la montaña forman parte del mismo sistema. La pérdida total del agua de la superficie del planeta al año equivale al total de la precipitación anual de la Tierra. Si se cambia cualquier parte del sistema, como la cantidad de vegetación de una región o los usos del suelo, esto afectará al resto del sistema.

Por otra parte, el agua participa en muchas reacciones químicas importantes, y la mayoría de sustancias son solubles en ella. Debido a lo eficiente que resulta como disolvente, el agua en estado puro casi no existe en la naturaleza. El agua acarrea muchas impurezas naturales o introducidas por el ser humano a medida que viaja a través del ciclo hidrológico. Estas impurezas le dan a cada porción de agua su composición química característica o calidad. El agua y la nieve recogen pequeñas partículas de polvo o aerosoles del aire y la luz del sol hace que las emisiones de la quema de gasolina y otros combustibles fósiles reaccionen con el agua para formar ácido sulfúrico y nítrico. Estos contaminantes regresan a la Tierra en forma de lluvia o nieve ácidas. Los ácidos del agua disuelven las rocas poco a poco y hacen que los sólidos disueltos vayan a parar al agua. Estos pequeños, pero visibles, trozos de roca y suelo también ingresan al agua y se quedan como sólidos en suspensión que tornan turbias a muchas aguas. Cuando el agua se filtra en el suelo, entra en contacto muy directo con las rocas y demás minerales que se disuelven en el agua. Estas impurezas disueltas o suspendidas determinan la calidad del agua (Bales y Conklin, 1997).

Es por esta razón, que los criterios usados para analizar la calidad del agua están basados en parámetros físicos, químicos y biológicos, a los cuales se les denomina indicadores de calidad del agua porque están relacionados principalmente con problemas que pueden afectar directa o indirectamente la salud humana (Bañuelos, 1982; Seoanez, 1995).

Los criterios ecológicos de calidad del agua permiten precisar los niveles máximos permisibles de las sustancias que se encuentran en el agua, para poder calificar a los cuerpos de agua, como aptos de acuerdo con su uso.

Estos criterios, establecidos con base en los niveles de los parámetros y de las sustancias que se encuentran en el agua, varían ampliamente en calidad y cantidad de acuerdo a las condiciones naturales de los cuerpos de agua, al avanzado deterioro que presentan algunos de estos cuerpos, a las condiciones ambientales necesarias para la existencia y el desarrollo normal de los organismos en un ecosistema y a los diversos efectos que ocasiona la variación de las características físicas, químicas y biológicas del agua, entre especies y aún entre individuos de la misma especie; así como a los principales usos del agua (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 1989).

De esta manera, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de 1989 menciona los siguientes criterios ecológicos de calidad del agua requeridos para el uso o aprovechamiento del agua:

Calidad para la protección de la vida de agua dulce: Grado de calidad del agua, requerido para mantener las interacciones e interrelaciones de los organismos vivos, de acuerdo al equilibrio natural de los ecosistemas de agua dulce continental.

Calidad para la protección de la vida de agua marina: Grado de calidad del agua, requerida para mantener las interacciones e interrelaciones de los organismos vivos, de acuerdo al equilibrio natural de los ecosistemas de agua marina.

Los criterios ecológicos de calidad del agua para la protección de la vida de agua dulce y agua marina, se establecen para garantizar la sobrevivencia de los organismos acuáticos y evitar el peligro de bioacumulación, previendo el daño a las especies que forman parte de la cadena alimenticia.

Calidad para uso en acuicultura: Grado de calidad del agua, requerido para las prácticas acuiculturales, que garantiza el óptimo desarrollo de las especies cultivadas, así como para proteger su calidad para el consumo humano.

Los criterios ecológicos de calidad del agua para uso en acuicultura, se establecieron para garantizar el crecimiento y el desarrollo de ciertas especies sujetas a cultivo o semicultivo; previendo las posibilidades de bioacumulación de sustancias que pudieran afectar la salud humana por su consumo.

Calidad para riego agrícola: Grado de calidad del agua, requerido para llevar a cabo prácticas de riego sin restricción de tipos de cultivo, tipos de suelo y métodos de riego.

Los criterios ecológicos de calidad del agua para riego agrícola, se definieron considerando su aplicación a todo tipo de cultivo.

Calidad para uso como fuente de abastecimiento de agua potable: Grado de calidad del agua, requerido para ser utilizado como abastecimiento de agua para consumo humano, debiendo ser sometida a tratamiento, cuando no se ajusta a las disposiciones sanitarias sobre agua potable.

Los criterios ecológicos de calidad del agua en la fuente de abastecimiento para agua potable y con fines recreativos, se enfocan a la protección de la salud humana, basándose en las propiedades carcinogénicas, tóxicas u organolépticas (color, olor o sabor) de las sustancias, así como en los efectos que éstas puedan causar a los organismos que se encuentran presentes en el agua. En este caso, los criterios no se refieren a la calidad que debe tener el agua para ser ingerida, sino los niveles permisibles en el cuerpo de agua que se pretenda utilizar para proveer agua para consumo humano.

Calidad para uso pecuario: Grado de calidad del agua, requerido para ser utilizada como abastecimiento de agua para consumo por los animales domésticos, que garantiza la protección de su salud y la calidad de los productos para consumo humano.

Los criterios ecológicos de calidad del agua para uso pecuario, se establecieron considerando la protección de la salud de los animales domésticos y los destinados a la alimentación del hombre, previendo las posibilidades de bioacumulación de sustancias tóxicas que pudieran afectar la salud humana.

Calidad para uso recreativo con contacto primario: Grado de calidad del agua, requerido para ser utilizada en actividades de esparcimiento, que garantiza la protección de la salud humana por contacto directo.

En los criterios ecológicos de calidad del agua, para uso recreativo con contacto primario, también se tomó en cuenta, que los cuerpos de agua que se utilizan como área de recreación pueden sostener o de hecho sostienen vida acuática y que por tanto deben reunir condiciones que aseguren la protección de la vida de agua dulce o de agua marina, según sea el caso.

4.3 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Un análisis sanitario-fisicoquímico completo del agua comprende propiedades físicas como la temperatura y propiedades químicas tales como sólidos suspendidos, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, pH, alcalinidad, nitritos, nitratos, dureza y detergentes, entre otros. Es por este motivo que las propiedades físicas y químicas del agua son muy importantes para la evaluación de su calidad (Voznaya, 1987).

Alcalinidad

La alcalinidad es la medida de una propiedad agregada del agua. La basicidad es fruto de la presencia de determinadas especies en disolución y aporta al agua la capacidad de reaccionar con ácidos, neutralizando sus efectos. Las especies que confieren esta propiedad al agua son fundamentalmente los aniones hidróxido (OH^-), carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-), además de los aniones provenientes de la disociación de ácidos débiles (APHA *et al.*, 1992; Seoanez, 1995).

Debido a que la alcalinidad es una medida de la resistencia del agua a las reducciones de pH cuando se le añaden ácidos, la alcalinidad está estrechamente relacionada con los cambios de pH de un cuerpo acuático. Estos ácidos añadidos generalmente provienen de la lluvia o de la nieve, aunque las fuentes del suelo que se generan a medida que el agua disuelve las rocas que contienen carbonato de calcio, como calcita o piedra caliza son más importantes en algunas zonas (Bales y Conklin, 1997).

Cuando un cuerpo de agua recibe un gran flujo de ácidos procedentes de un aguacero o de la nieve que se derrite rápidamente, puede -al menos temporalmente- consumir toda la alcalinidad y hacer que descienda el pH del agua a niveles peligrosos para los anfibios, los peces o el zooplancton. Es por este motivo, que la alcalinidad, o basicidad como también se le conoce, está estrechamente relacionada con el crecimiento de la vida acuática, es decir, con la ecología de un cuerpo de agua (Bales y Conklin, 1997; SARH, 1978).

Cloruros

El cloruro, en forma de ion (Cl^-), es uno de los aniones inorgánicos principales; en el agua natural se encuentra en diversas concentraciones y normalmente se incrementa con el contenido mineral (SARH, 1978; APHA *et al.*, 1992). En las montañas y tierras elevadas, las aguas subterráneas y la de los ríos tienen una concentración mayor de cloruros que los abastecimientos de agua los cuales son bajos en cloruros. En comparación con los casos anteriores, las aguas de los mares y los océanos tienen una concentración más elevada al contener los residuos resultantes de la evaporación parcial de las aguas naturales que fluyen hacia ellos (SARH, 1978).

En los cuerpos de agua el aumento de cloruros se lleva a cabo de diferentes modos. El agua tiene un gran poder solvente, disolviendo los cloruros de los suelos y de las formaciones subterráneas. Por acción del viento y el oleaje se elevan minúsculas gotitas que son acarreadas tierra adentro, provocando la formación de pequeños cristales de sal como resultado de la evaporación del agua. Estas fuentes constantemente aumentan los cloruros tierra adentro, en donde se depositan. Debido a su mayor densidad las aguas salinas de mares y océanos, fluyen río arriba mezclándose con las aguas de estas corrientes receptoras (SARH, 1978).

En las aguas naturales, la concentración de cloruros es menor que en las aguas de desecho debido que el cloruro de sodio en forma de sal común es un artículo común en la dieta humana y pasa por el sistema digestivo sin sufrir cambio alguno; de ahí su importancia como una fuente de contaminación en las aguas naturales provenientes de aguas de desecho o residuales (SARH, 1978; Robles, 2001).

El cloruro también es importante en las fuentes de agua natural no solamente porque un contenido elevado de cloruros aumenta el contenido de sólidos en el agua sino también porque esto perjudica el crecimiento vegetal (SARH, 1978; APHA *et al.*, 1992).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica, es decir, se refiere a la mayor o menor resistencia del agua a permitir el paso de la electricidad (APHA *et al.*, 1992; Seoanez, 1995).

La conductividad establece el grado de mineralización de un cuerpo de agua lo que permite determinar el efecto de la concentración total de iones sobre los equilibrios químicos, efectos fisiológicos en plantas y animales, etcétera. Esto es debido a que el agua en estado puro no presenta prácticamente carácter conductor, debido al bajo grado de disolución iónica que presenta. Por tanto, para que su conductividad aumente será preciso que haya compuestos en su mayoría sales minerales disueltas en el agua y disociados en sus iones (Seoanez, 1995; APHA *et al.*, 1992).

Por lo tanto, una medida de la conductividad del agua es una estimación acerca de la concentración aproximada de las sales minerales presentes, lo que es de mucha utilidad en sectores como la agricultura. Sin embargo, no aporta información acerca de la contaminación

orgánica de un agua en el caso de que ésta exista, pues las materias orgánicas del agua apenas modifican la conductividad de ésta (Seoanez, 1995).

De esta manera, al ser las impurezas del agua, como las sales, las que permiten que ésta conduzca la electricidad; la conductividad se utiliza frecuentemente para medir la cantidad de sólidos disueltos que existen en el agua (APHA *et al.*, 1992; Bales y Conklin, 1997).

Materia orgánica

Dentro de los parámetros que se consideran como indicadores de la contaminación orgánica se mencionan a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y a la demanda química de oxígeno (DQO) (Seoanez, 1995).

La DBO₅ se define como la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica e inorgánica por medio de una población heterogénea de microorganismos, es decir, la DBO₅ expresa la cantidad de oxígeno necesario que utilizan los microorganismos para biodegradar la materia orgánica.

La demanda química de oxígeno (DQO), es una medida del oxígeno equivalente a la porción de la materia orgánica e inorgánica que es susceptible de oxidarse bajo condiciones específicas de un agente oxidante, temperatura y tiempo. Es pues, la prueba de la demanda química de oxígeno, una reacción de oxidación-reducción en la que se estima las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánica o mineral (hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros) (SARH, 1978; Seoanez, 1995).

La existencia de materia orgánica en el agua es una de las alteraciones de mayor importancia, ya que deriva de la mayoría de las actividades realizadas por el hombre (domésticas, industriales, agropecuarias, etc.). Debido a ello, la variedad de contaminantes orgánicos es muy grande en la mayoría de los casos, pero el principal problema reside en que la presencia de materia orgánica en el agua le confiere a ésta un elevado carácter reductor, del cual se desencadenan una serie de efectos que pueden resultar peligrosos. Estos efectos se presentan cuando las sustancias orgánicas no son biodegradables por vías oxidantes, lo que provoca que permanezcan en el agua dando lugar a toda una serie de alteraciones físicas tales como malos olores, mal sabor o la formación de espuma (Seoanez, 1995). Esto también genera que el nivel de oxígeno disuelto disminuya debido a que la degradación de la materia orgánica requiere grandes cantidades de oxígeno, pero si no existe ninguna fuente de oxígeno el proceso recurrirá al elemento que se encuentre libre en el agua, de manera que si ésta no puede renovar sus reservas de oxígeno en compuestos disueltos por medio de aportes externos, el nivel de oxígeno disminuirá y dará lugar a la aparición de sustancias altamente tóxicas (Seoanez, 1995).

Dureza

Originalmente, la dureza del agua se entendió como una medida de su capacidad para precipitar el jabón. El jabón es precipitado preferentemente por los iones calcio y magnesio. Otros cationes polivalentes también pueden hacerlo, pero éstos suelen estar presentes en formas complejas,

frecuentemente con compuestos orgánicos, y su influencia en la dureza del agua puede ser mínima. De acuerdo con los criterios actuales, la dureza de un agua corresponde a la suma de las concentraciones de los cationes metálicos. En la mayoría de los casos, la dureza se debe principalmente a los iones calcio y magnesio, a los que se suma a veces los iones hierro, manganeso y estroncio (APHA *et al.*, 1992; Seoanez, 1995).

En el agua podemos determinar distintos tipos de dureza, como es el caso de la dureza total, que es la suma de las concentraciones de los iones calcio y magnesio. La dureza cálcica es la que expresa la cantidad de sales cálcicas presentes en el agua, mientras que, la dureza magnésica es la que expresa la concentración de sales magnésicas presentes en el agua. Finalmente, la dureza carbonatada o temporal y la dureza permanente o no carbonatada; la primera de estas, es decir, la dureza carbonatada o temporal es la que desaparece al someter al agua a ebullición, y es equivalente a la dureza total menos la dureza permanente o a la suma de las alcalinidades carbonatada y bicarbonatada. Y la dureza permanente o no carbonatada, es la dureza que mantiene el agua tras haber sido sometida a ebullición y filtrada posteriormente; equivale a la diferencia de la dureza total menos la dureza carbonatada o temporal (Seoanez, 1995).

Fosfatos

El fósforo se encuentra en las aguas naturales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados piro, meta y otros polifosfatos, y los ligados orgánicamente. Se presentan en solución, partículas o detritus, o en los cuerpos de organismos acuáticos (APHA *et al.*, 1992).

El fósforo al igual que el hidrógeno, carbono, nitrógeno y azufre resulta esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitador de la productividad primaria de un cuerpo de agua. En los casos en que constituye el nutriente limitador del crecimiento puede estimular el crecimiento de micro y macroorganismos acuáticos fotosintéticos en los cuerpos de agua influyendo, por lo tanto, en los procesos de productividad acuática. Esto puede causar problemas de olor y sabor al aumentar el índice de turbiedad del agua (APHA *et al.*, 1992; SARH, 1978; Bales y Conklin, 1997).

Los fosfatos pueden aparecer también en los sedimentos de fondos y en cienos biológicos, tanto en formas inorgánicas precipitadas como incorporados a compuestos orgánicos (APHA *et al.*, 1992).

Las diversas formas de fosfatos provienen de una gran variedad de fuentes como las aguas de retorno agrícola, las cuales pueden contener ortofosfatos aplicados como fertilizantes a la tierra cultivada agrícola o residencial y que son arrastrados a las aguas superficiales con las lluvias y, en menor proporción, con la nieve derretida. Algunos fosfatos condensados y los fosfatos orgánicos se añaden a los cuerpos de agua por medio de las aguas de desecho de origen doméstico que contengan residuos humanos, animales y vegetales, así como, detergentes, microorganismos y otras masas celulares como son los residuos de alimentos. Asimismo, los fosfatos condensados y los fosfatos orgánicos también son aportados a las aguas superficiales a través de las aguas de

desecho industrial relacionadas con procesos de corrosión, aditivos usados en el control de las incrustaciones, detergentes y en algunos procesos químicos (APHA *et al.*, 1992; SARH, 1978).

Nitrógeno

Las plantas tanto en agua salada como en la dulce requieren de tres nutrientes para su crecimiento: carbono, nitrógeno y fósforo. De hecho, la mayoría tiende a utilizar los tres nutrientes en la misma proporción y no pueden crecer si la cantidad de alguno de ellos no es suficiente. El carbono es relativamente abundante en el aire como dióxido de carbono, el cual se disuelve en el agua, de modo que una falta de nitrógeno o de fósforo generalmente limita el crecimiento de las plantas acuáticas. En algunos casos, nutrientes de arrastre, como el hierro, también puede ser un limitante, al igual que la luz del sol. El nitrógeno existe en los cuerpos de agua de múltiples formas: nitrógeno molecular disuelto (N_2), compuestos orgánicos, amoníaco (NH_4^+), nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-). Todas estas formas del nitrógeno forman parte del ciclo del nitrógeno, son interconvertibles bioquímicamente y son -en orden decreciente de su estado de oxidación-, el nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico (APHA *et al.*, 1992; Bales y Conklin, 1997).

El nitrógeno orgánico se define funcionalmente como nitrógeno ligado orgánicamente en el estado de oxidación trinegativo. Incluye compuestos naturales como las proteínas y péptidos, ácidos nucleicos y urea, y numerosos materiales orgánicos sintéticos; es decir, el nitrógeno orgánico no incluye a todos los compuestos orgánicos del nitrógeno. Asimismo, permite la transformación en amoníaco de los compuestos de origen biológico (proteínas, polipéptidos y aminoácidos), pero no la de compuestos nitrogenados de origen industrial (oximas, hidracina y derivados semicarbamatos, etc.), ni el nitrógeno procedente de los nitritos y nitratos (APHA *et al.*, 1992; Seoanez, 1995).

El amoníaco se encuentra en forma natural en las aguas superficiales. Se produce en gran parte por desaminación de los compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea. También puede producirse por la reducción de los nitratos en condiciones anaerobias, por bacterias autótrofas nitrificantes del grupo de las nitrosomonas (APHA *et al.*, 1992; SARH, 1978).

El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas superficiales. Es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos, es el nitrato el determinante del crecimiento (APHA *et al.*, 1992; Robles, 2001).

El nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, tanto en la oxidación del amoníaco a nitrato como en la reducción del nitrato. Estas dos reacciones químicas de oxidación y reducción se llevan a cabo en las aguas naturales (APHA *et al.*, 1992). En condiciones aerobias los nitritos son oxidados a nitratos por las bacterias del grupo nitrobacter, mientras que en condiciones anaerobias los nitratos se reducen mediante el proceso llamado desnitrificación; este proceso afecta el crecimiento de las algas indeseables y de otras plantas acuáticas al ser eliminado el nitrógeno de los cuerpos de agua (SARH, 1978; Robles, 2001).



U.N.A.M. CAMPUS

Oxígeno disuelto

En lo que se refiere a los niveles de oxígeno disuelto (OD) en las aguas naturales, éstos dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema acuático. En general, existen tres factores que afectan la concentración de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua natural, que son: presión atmosférica, temperatura y salinidad o contenido de sólidos disueltos (APHA *et al.*, 1992; Robles, 2001).

IZT.

Al estar estrechamente relacionados con la supervivencia de plantas y animales en todos los cuerpos de agua, los niveles de oxígeno disuelto pueden usarse como indicadores de la contaminación debido a que la presencia de oxígeno disuelto previene o reduce el inicio de la putrefacción y la producción de cantidades objetables de sulfuros mercaptanos y otros compuestos causantes del mal olor en los cuerpos de agua; mientras que los microorganismos aerobios usan el oxígeno para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica produciendo sustancias finales inofensivas tales como bióxido de carbono y agua; los microorganismos anaerobios efectúan la oxidación utilizando el oxígeno disuelto en ciertas sales orgánicas, obteniéndose productos mal olientes. Por lo tanto, es muy importante mantener las condiciones favorables para el desarrollo de los microorganismos aerobios con el fin de evitar olores ofensivos en las fuentes naturales de agua (Bales y Conklin, 1997; Robles, 2001).

pH

El pH es un parámetro que nos indica la concentración de protones (iones hidrógeno H^+) presentes en una disolución acuosa, es decir, es una medida del contenido ácido del agua que influye sobre gran parte de los procesos químicos de un cuerpo acuático (Seoanez, 1995; Bales y Conklin, 1997).

El nivel de acidez (pH) influye considerablemente en la vegetación y en la vida silvestre de un medio ambiente. El pH puede influirse por distintos factores, entre los cuales los principales son la contribución alcalina de las rocas y tierra, la cantidad de agua que exista en la zona y también las actividades humanas (tráfico, edificaciones, superficies asfaltadas, etc.). Por este motivo, es importante llegar a comprender todas estas relaciones debido a la estrecha interdependencia que existe entre la naturaleza y las actividades humanas (Bales y Conklin, 1997).

Sólidos

Los sólidos son los materiales suspendidos o disueltos en los cuerpos de agua. El término "sólidos totales" es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de la muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los "sólidos totales suspendidos", o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los "sólidos disueltos totales" o porción que atraviesa el filtro (APHA *et al.*, 1992).

En múltiples ocasiones el agua actúa como vehículo de transporte de los materiales con que se encuentra a su paso. Este transporte de materiales puede llevarse a cabo de distintas formas, en función de la naturaleza de las sustancias transportadas. En primer lugar están las materias ionizables, que en contacto con el agua se disuelven, y es en esta forma como son transportadas.

Otro tipo de materiales son aquellos que no pasan a la fase disuelta, y que se presentan finamente divididos, y son transportados en suspensión en el seno de la corriente de agua. Por último, están los materiales insolubles que presentan un tamaño excesivamente grande para poder ser suspendidos en el agua, y que son arrastrados por la corriente, tratándose por tanto de un transporte menos eficaz que los anteriores a causa del rozamiento, y de otros factores.

La presencia de materias sólidas en disolución y en suspensión en un agua le confiere a ésta un grado de turbidez tal que en ocasiones puede impedir el paso de la luz a partir de determinadas profundidades, con los desequilibrios que ello puede acarrear (Seoanez, 1995).

Sulfatos

Los iones sulfato (SO_4^{2-}) se distribuyen ampliamente dentro del ciclo natural del azufre, dado que la mayoría de las transformaciones que en él ocurren son oxidaciones o reducciones que originan este anión. Muchos compuestos orgánicos contienen azufre, los cuales en condiciones aerobias mediante la completa oxidación o catabolismo liberaran el azufre como ión sulfato.

En ausencia de oxígeno disuelto y nitratos, los sulfatos sirven como fuente de oxígeno para las oxidaciones bioquímicas ocasionadas por bacterias anaeróbicas; en estas condiciones, el ión sulfato puede reducirse a ión sulfuro, el cual establece un equilibrio con el hidrógeno y el ácido sulfhídrico (de un olor muy desagradable). Cuando el pH es menor de 8 el equilibrio se desplaza rápidamente hacia la formación del ácido sulfhídrico no ionizado; bajo tales condiciones la presión parcial del sulfuro de hidrógeno viene a ser lo suficientemente grande para causar serios problemas de olor, siempre que la reducción del ión sulfato produzca una cantidad apreciable de ión sulfuro (SARH, 1978; Robles, 2001).

Sustancias Activas al Azul de Metileno

Las sustancias activas al azul de metileno o detergentes son sustancias que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del líquido en el cual se encuentran disueltos, de modo que éste adquiera mayor poder de penetración a través de los poros de ciertos materiales, a la vez que se extiende más fácilmente en la superficie de los cuerpos en los que se aplica (SARH, 1978).

El incremento de estos compuestos en la vida diaria del hombre, ha traído como consecuencia su acumulación en los cuerpos de agua, dando como resultado la formación de espuma en el agua, lo cual es indeseable desde el punto de vista estético. Sin embargo, los efectos de estos compuestos son principalmente en la vida acuática debido a que causan daños a los vegetales acuáticos inhibiendo la fotosíntesis y originando la muerte del fitoplancton. Además, al alterar la tensión superficial de las aguas, se origina la pérdida del oxígeno disuelto en ellas y se permite la entrada del agua en el plumaje de las aves acuáticas, con la consecuente salida de la capa aislante

de aire ocasionando muchas veces su muerte por exceso de peso o por el contacto directo con las aguas frías, de manera similar a como ocurre en presencia de petróleo. Asimismo, entre los efectos que causan los detergentes sobre los peces se encuentra la inhibición de la velocidad de crecimiento así como los daños que causan sobre los órganos quimiorreceptores y la separación del epitelio de las branquias lo que impide el libre intercambio de oxígeno (Gutiérrez, 1996; Robles, 2001; SARH, 1978).

Por otra parte, la acumulación de estos compuestos pueden ocasionar la eutroficación de los cuerpos de agua debido a que los detergentes presentan un alto contenido de fosfatos, los cuales son nutrientes, por lo que su presencia provoca una sobrepoblación de la flora acuática, la cual al morir, sufre una acción degradativa microbiana, ocasionando una mayor demanda de oxígeno, que perjudica a la fauna y al propio cuerpo de agua (SARH, 1978).

Temperatura

La temperatura de una sustancia es una medida de la energía cinética de sus moléculas (Robles, 1998). La temperatura de un cuerpo de agua dulce o salina está gobernada por la vegetación, las condiciones climatológicas y el grado de mezclado de las diferentes masas de agua. La temperatura de la mayoría de las aguas superficiales varía de 0 a 40 grados centígrados dependiendo de la latitud, altitud, estación del año, hora del día, flujo, profundidad y otras muchas variables (Bales y Conklin, 1997; Robles, 2001).

La temperatura a la que se encuentra el agua es un factor clave para poder determinar cual va a ser su comportamiento ante distintos tipos de alteraciones. Un primer aspecto dependiente de la temperatura es el grado de solubilidad que presenten las distintas sustancias solubles. Por regla general, podemos decir que la solubilidad de la mayoría de las sales en agua aumenta como consecuencia de una elevación de la temperatura. La solubilidad de los gases experimenta una variación opuesta a la de las sales, es decir, disminuye al producirse un aumento de la temperatura. Es por esta razón que los cambios en la temperatura hacen variar a la conductividad eléctrica debido a que dependiendo de la temperatura aumenta o disminuye la solubilidad de las sales y en especial la de los gases, modificándose por tanto la concentración de las especies iónicas presentes. Por razones análogas varía el pH con la temperatura.

Otro aspecto que depende de la temperatura es la velocidad y el rendimiento de casi todas las reacciones biológicas que se llevan a cabo en un medio acuoso. Todos estos procesos, en los que intervienen microorganismos como agentes biodegradantes, tienen un intervalo de temperaturas dentro del cual su rendimiento es óptimo, de la misma forma que existen temperaturas críticas más allá de las cuales no puede haber actividad biológica (Seoanez, 1995).

4.4 INDICADORES BACTERIOLOGICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

El término alteraciones biológicas de un agua se refiere al desequilibrio provocado por un aumento del número de microorganismos presentes. Dentro de estos microorganismos los más importantes son las bacterias, los protozoos y las algas.

Las bacterias forman un grupo muy importante, ya que constituyen el sector de los microorganismos encargados de oxidar la materia orgánica del agua. Los protozoos también tienen un papel importante pues se alimentan de bacterias y sirven por tanto como un agente equilibrador entre las poblaciones de microorganismos. Por su parte, el papel de las algas reside en su capacidad fotosintética, que les permite liberar oxígeno manteniendo la concentración en el agua de este gas.

Otro tipo de alteraciones biológicas son aquellas relacionadas con disminuciones en la flora y fauna acuáticas de un agua, provocadas a menudo por una reducción de las concentraciones de oxígeno libre disuelto (Seoanez, 1995).

Es por este motivo que las bacterias juegan un papel importante en el medio acuático ya que algunas de ellas forman parte de la flora autóctona y otras pueden encontrarse como contaminantes. Como tales, las bacterias pueden usarse como indicadoras de una variedad de condiciones, como por ejemplo la determinación de la presencia o ausencia de contaminación en general y la posible fuente de ella en el agua (Romero y Rodríguez, 1982).

De esta manera, la calidad sanitaria del agua con su consecuente adaptabilidad a usos generales con respecto de la presencia de bacterias sirve para determinar focos de organismos de importancia para la salud pública. En general, la flora microbiana natural de lagos, ríos, pantanos y mares, son importantes en las diferentes funciones que tienen lugar en la naturaleza, pues la actividad de los organismos microbianos interviene en diversas transformaciones químicas que permiten un equilibrio normal de la vida acuática y cooperan, además, en varios procesos geoquímicos.

Una gran variedad de microorganismos se presentan en todas las fases del ciclo hidrológico; el agua atmosférica contiene la flora microbiana presente en las pequeñas partículas que arrastra el aire, el agua superficial (arroyos, ríos, pantanos, lagos y mares) alberga infinidad de microorganismos naturales y extraños presentes, estos últimos, por causa de contaminación, y los aportados durante los primeros minutos de la precipitación pluvial; mientras que la calidad bacteriológica del agua edáfica comúnmente es buena.

Generalmente, el agua superficial se contamina por las descargas residuales domésticas e industriales. Esto trae como consecuencia la propagación por el agua de gérmenes patógenos, algunos de los cuales son causantes de infecciones intestinales (fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería y cólera), debido principalmente a que las aguas residuales pueden contener millones de bacterias por mililitro, entre las que se incluyen coliformes, estreptococos, bacterias *Proteus* y otras más que proceden del tracto intestinal humano y animal, además de protozoarios, virus, nematelmintos, platelmintos y agentes causantes de enfermedades (SARH, 1978).

Por esta razón, las bacterias, consideradas como indicadoras de la calidad del agua como los coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales, son importantes para conocer el grado de contaminación de un cuerpo acuático así como el origen de esta contaminación.

Estos grupos bacterianos cumplen con ciertos requisitos indispensables para ser considerados como indicadores de la calidad del agua, los cuales son:

1. Deben ser de origen patógeno o animal (incluyendo especificidad fecal).
2. Deben estar presentes en el agua de manera simultánea junto con bacterias, virus, protozoarios y helmintos patógenos. Además, deben presentarse en número suficiente para proporcionar una estimación precisa de los niveles de patógenos asociados con riesgos a la salud, es decir, su densidad debe tener relación directa con el grado de contaminación fecal.
3. Su sobrevivencia en el medio acuático debe ser un poco mayor que la de los patógenos.
4. Su resistencia a los procesos de tratamiento y desinfección debe ser similar a la de los patógenos.
5. No deben reproducirse en el medio ambiente.
6. Deben ser aplicables a todo tipo de aguas.
7. Deben ser aplicables a todas las áreas geográficas.
8. Su detección debe ser metodológicamente exacta, precisa, sensible, fácil, de bajo costo y que proporcione resultados cuantitativos en un corto periodo de tiempo (Mc Neill, 1992; SARH, 1978).

Dentro de los grupos bacterianos que se asemejan más a un indicador ideal, se encuentran los coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales.

En lo que se refiere a los grupos bacterianos indicadores de contaminación, normalmente los bacilos coliformes comprenden los microorganismos que fermentan lactosa *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, e incluyen, por otras razones bioquímicas, a *Edwardsiella* y *Serratia* que no fermentan la lactosa (Freeman, 1989).

Los coliformes totales son bacilos cortos, no esporulados, aerobios y anaerobios facultativos, gram negativos, que fermentan la lactosa con producción de gas y acidez a $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ en 48 horas (SARH, 1978).

Las poblaciones bacterianas del grupo coliforme fecal se caracterizan por mostrar forma de bastón, ser gram negativas, aerobias o anaerobias facultativas, no esporuladas, capaces de fermentar la lactosa a las 24-48 horas, cuando se incuban a 35°C . Comprende los géneros *Escherichia* y *Enterobacter* y además cepas intermedias diferenciables por pruebas bioquímicas (Romero y Rodríguez, 1982; Freeman, 1989).

Entre los estreptococos que aparecen como habitantes normales del tracto intestinal del hombre, conocidos como enterococos, se encuentran *S. faecalis*, *S. faecium*, *S. durans* y *S. avium*, estos se distinguen por su mayor tolerancia a la temperatura y a la concentración de sales. Son cocos, gram positivos, agrupados en pares o cadenas cortas, crecen en presencia de sales biliares, produciendo acidez, pero no gas, en manitol y lactosa (Romero y Rodríguez, 1982; Freeman, 1989; SARH, 1978).

4.5 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Este índice nos permite evaluar un cuerpo acuático en relación al grado de contaminación que presenta, como es el caso de la laguna de Mecoacán. Esta estimación se basa en las características físicas, químicas y biológicas del cuerpo acuático. Asimismo, el ICA (índice de calidad del agua) permite asignar el uso adecuado al que se debe destinar un cuerpo acuático, considerando el grado de contaminación que presenta al momento del estudio.

Por otra parte, el índice de calidad del agua también permite obtener un patrón de comparación entre los distintos cuerpos de agua, además de conocer por medio del ICA el estado que guarda el agua respecto a su calidad, haciendo uso de ciertos parámetros, entre ellos: oxígeno disuelto, DBO, DQO, pH, temperatura, turbiedad, conductividad eléctrica, y coliformes totales y fecales. La aplicación de estos depende del uso que tiene el agua ya sea agrícola, con fines recreativos, para producción de peces, entre otros.

Es indudable que tanto los indicadores bacteriológicos (coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales) como los parámetros o indicadores fisicoquímicos (temperatura, alcalinidad, DBO, etc.), no se pueden desligar del índice de calidad del agua, ésto debido por una parte a que la calidad del agua es una característica que abarca aspectos fisicoquímicos y biológicos de un cuerpo acuático y, por otro lado, porque el índice de calidad se basa en todas estas características para determinar las alteraciones que las actividades humanas tienen sobre el cuerpo de agua. Otro aspecto por el que el índice de calidad toma en cuenta a estos indicadores es para evaluar el uso adecuado al que se puede destinar una masa de agua como lo es la laguna Mecoacán en Tabasco, México.

Por otra parte, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en 1979 también estableció criterios ecológicos de calidad del agua para clasificar las aguas de los cuerpos acuáticos en función de sus usos y de acuerdo a las características de la calidad del agua de estos cuerpos, los cuales se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Usos del agua según el índice de calidad del agua (Tomado de SARH, 1979)

100	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación	Aceptable	Aceptable	
90	Ligera purificación			Ligera purificación para algunos procesos			
80	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para industria normal			
70			Dudoso para especies sensibles				
60		Dudoso	Dudoso para el contacto directo	Solo organismos muy resistentes			Con tratamiento en la mayor parte de la industria
50	Sin contacto con el agua						
40	Inaceptable	Uso muy restringido	Inaceptable	Uso muy restringido			Restringido
30		Inaceptable		Inaceptable			Inaceptable
20		Inaceptable		Inaceptable			Inaceptable
10	Abastecimiento	Recreación	Pesca y vida acuática	Industrial y agrícola			Navegación
0					Transporte de desechos tratados		

4.6 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

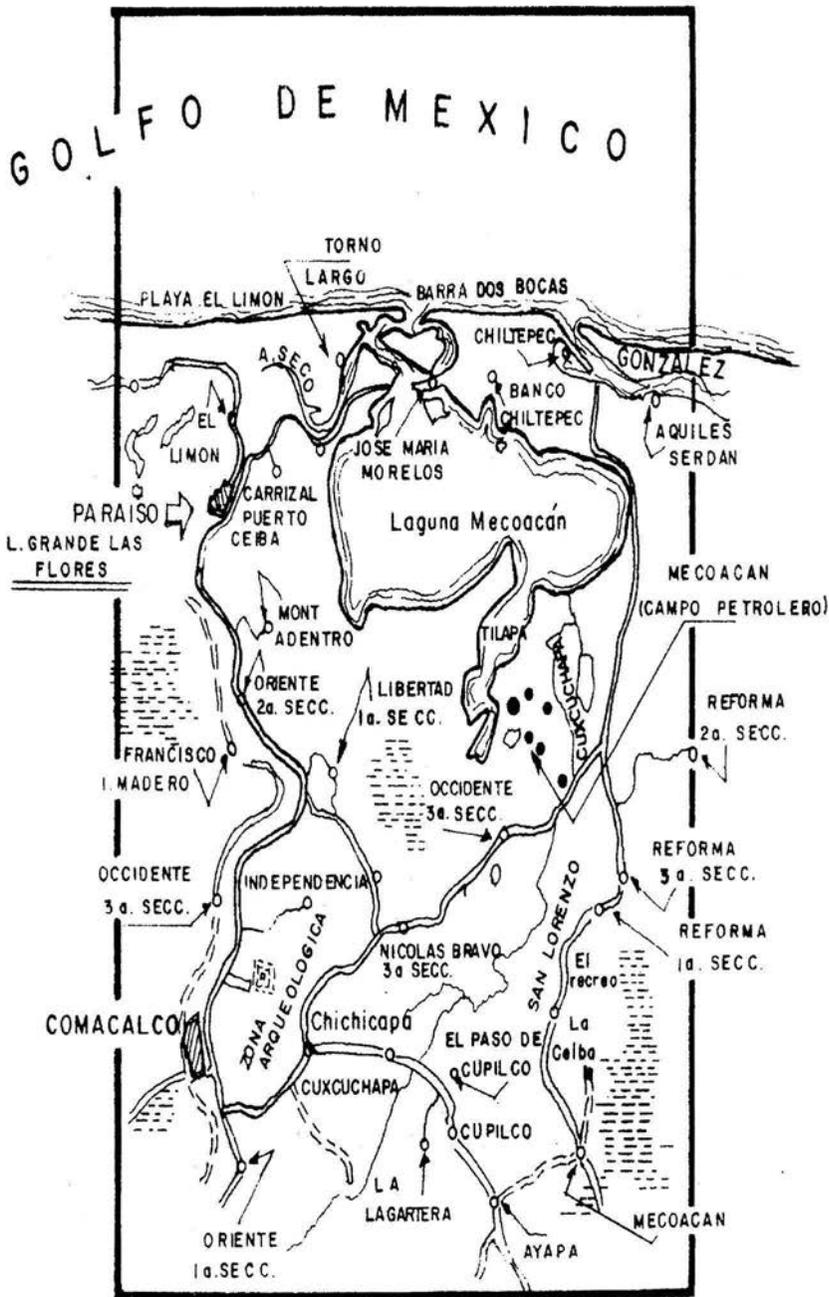
La laguna Mecoacán se localiza en el litoral del Golfo de México en el extremo oeste de la costa del Estado de Tabasco, cerca del poblado Puerto Ceiba, comprendiendo la porción noroeste de la llanura deltaica del río Mezcalapa. Ubicada entre los meridianos 93°04' y 93°14' de longitud oeste y los paralelos 18°16' y 18°26' de latitud norte, forma parte del cuerpo deltáico de los ríos Grijalva y Usumacinta (Botello, 1981; Contreras, 1993; García-Cubas *et al.*, 1990).

La laguna tiene un área aproximada de 5,168 ha. Su eje principal se orienta en dirección este-oeste y es paralelo a la línea de costa; mide 11.5 km de norte a sur, y en su parte más ancha, 7 km. Evidencia un tipo de clima Am(f)Wⁱ'g, esto es, tropical lluvioso muy cálido, húmedo con una precipitación media anual de 1800 mm a 4000 mm y una temperatura media de 26°C con extremos de 10° a 42°C. En ciertas épocas del año se presentan condiciones de fuertes vientos con rumbo norte-noreste acompañados de lluvias, que se conocen con el nombre de "nortes" y que afectan especialmente la zona costera (Botello, 1981; Castro, 1981; Contreras, 1993).

La profundidad de este cuerpo acuático oscila entre 0.30 y 2.30 m, y el promedio es de 1m. Se encuentra separada del Golfo de México por una barrera litoral de origen marino, de aproximadamente 12 km de largo por 3 km de ancho y alrededor de 4 m de altura máxima, formada por antiguos cordones de playa. El canal de acceso al mar registra algunos tramos con honduras de 8 m y se localiza al norte. La laguna es un par de canales en forma de pinza que se abren permanentemente al mar a través de una boca natural de aproximadamente 300 m de ancho llamada Barra de dos Bocas. Por la parte este de la laguna desemboca el río Escarbadó (15 m de ancho), cuyo cauce es artificial, se comunica a través de la laguna Tilapa con el río González, que llega al Golfo de México a través de la Boca de Chiltepec ubicada al noroeste de la laguna. También hacia el noroeste de la laguna se localiza el puerto petrolero Dos Bocas que recibe aportes de crudo provenientes de la plataforma de explotación petrolera en la Sonda de Campeche a través de un oleoducto submarino.

En la parte sureste se localiza el río Cuxcuchapa (15 m de ancho); el río Seco desemboca al noroeste de la laguna, con un ancho aproximado de 100 m. Próxima a la desembocadura del río Seco y la Barra de dos Bocas, se localiza la Isla Morelos (Castro, 1981; Contreras, 1993; García-Cubas *et al.*, 1990).

El rasgo fisiográfico más notable lo constituye la saliente Punta Tilapa en la parte sur, dicha punta flanquea una laguneta llamada Tilapa, que sería la prolongación de agua anexa más importante de la laguna de Mecoacán. Las lagunas Tilapa y la Negrita son dos cuerpos de agua pequeños asociados a la laguna principal, los cuales se comunican a la laguna Mecoacán a través de canales. Entre estas dos lagunas se encuentran las instalaciones del campo petrolero Mecoacán. Por el suroeste se encuentra la Ensenada del Chivero. La boca de acceso se conoce como Boca Grande y se ubica en la parte norte del sistema, esta formada por la Barra de Bellote y un grupo de pequeños islotes que forman parte del sistema lagunar (Castro, 1981; Contreras, 1993; García-Cubas *et al.*, 1990) (Ver mapa 1).



Mapa 1. Localización del área de estudio
(Escala 1:500 000. SARH, 1984).

4.7 CARACTERISTICAS DE LA LAGUNA DE MECOACAN

Se trata de una zona de elevada producción ostrícola y explotación de petróleo en sus inmediaciones. El clima característico y el agua salobre proveen condiciones para el desarrollo de manglar como tipo de vegetación dominante que rodea a la laguna; hay además zonas de inundación y pantanos, así como plantaciones de palmeras que se encuentran por detrás del manglar. Pertenece a la región hidrológica 30, cuyas características representativas son:

	Mínima	Máxima
Evaporación	916	2021.7 mm anual
Precipitación	379	5394.0 mm anual
Temperatura	2	48.0 °C
Gasto máximo		9000 m ³ /seg

(Botello, 1981; Castro, 1981; Contreras, 1993)

En general, la vegetación circundante es del tipo bosque de mangle, además hay un tipo de popal (Mucalera). El aporte principal de materia orgánica proviene del manglar que rodea a la laguna, así como del lirio acuático arrastrado por los ríos que desembocan en la misma; además, también introducen lirio las corrientes provenientes de otros ríos que desembocan al mar, como es el caso del río González (Contreras, 1993; Centro de Ecodesarrollo, 1981).

El aporte de agua dulce es a través de tres ríos principales: Río Seco, Río Cuzcuchapa y Río Hondo o Escarbado (Botello, 1981). Estos ríos que drenan en la laguna Mecoaacán se forman en las zonas de inundación y pantanos de las llanuras aluviales del antiguo sistema deltáico del Río Mezcalapa (60-80km al sur de la laguna). El río Mezcalapa fluye al suroeste de Tabasco y drena gran parte de Chiapas y el extremo suroeste de Guatemala, este sistema abarca un área total de 36 566 km. Caracterizado por un voluminoso régimen de descarga de temporada, el Mezcalapa es el sistema fluvial más dinámico de Tabasco. Esta corriente es responsable de la mayor parte de las inundaciones destructoras que, con frecuencia, han desolado la porción central de las llanuras aluviales.

El movimiento del agua en el interior de la laguna se efectúa de manera circular, con dirección de oeste a este; las velocidades de corriente varían desde 2 hasta 90 cm/seg (García-Cubas *et al.*, 1990).

La mayor influencia sobre la circulación interna de la laguna se debe a la marea, y en menor escala a los vientos. Los ríos también juegan un papel importante en época de lluvias (Castro, 1981). Las mareas son de tipo diurno, penetran al cuerpo lagunar distribuyéndose hacia el sur y hacia el sureste de la laguna, con una ligera circulación en sentido de las manecillas del reloj, que se acentúa a medida que transcurre la pleamar, finalmente se pierde esta circulación y la masa de

agua toma dirección hacia la boca de la laguna durante la bajamar (Castro, 1981; García-Cubas *et al.*, 1990).

La salinidad presenta amplias variaciones que difieren en las porciones oriental y occidental de la cuenca lagunar principal, relacionadas principalmente con los aportes pluviales y con el movimiento circular de las corrientes (García-Cubas *et al.*, 1990).

El clima es cálido húmedo con temperatura media anual de alrededor de 26°C, siendo su máxima temperatura en el mes de julio con 28°C y su extrema máxima de 42°C, la mínima extrema es de 10°C en el invierno. La precipitación es del orden de 1500 a 1800 mm a lo largo de la costa y un promedio de 4000 mm en las estribaciones de la Sierra de Chiapas; la época de mayores lluvias comprende los meses de junio a septiembre con una precipitación media de 240 mm, siendo el mes de septiembre el más lluvioso con una precipitación media de 350 mm; de octubre a enero se presenta la temporada de “nortes”, los meses relativamente secos abarcan de enero a abril (Castro, 1981; García-Cubas *et al.*, 1990).

En la laguna se mantienen aguas cálidas con un promedio de 28°C y una variación anual alrededor de 7°C durante la mayor parte del año. Las temperaturas mínimas se registran en el invierno, coincidiendo con la época de “nortes” (24-25°C) y las máximas a principios de otoño (28.5 a 32°C). La temperatura durante un ciclo anual, es determinada de la siguiente manera: para el mes de marzo las temperaturas varían en el interior de la laguna entre 28 y 28.5°C, entre 29 y 30°C para el mes de junio; entre 28.5 y 32°C en octubre y las más bajas en el mes de enero, con variaciones de 23.9 a 24°C (García-Cubas *et al.*, 1990).

Su hidrología se puede resumir de la siguiente manera:

	Mínima	Máxima
Temperatura	24.1	30.2 °C
Salinidad	1.3	14 %
Oxígeno disuelto	3.0	4.5 ml l ⁻¹
Amonio	5.1	13.70 µmol l ⁻¹
Ortofosfatos	0.45	3.70 µmol l ⁻³
Clorofila a	6.7	21.90 mg m ⁻³
Productividad primaria	41.4	89.50 mgC m ⁻³ h ⁻¹

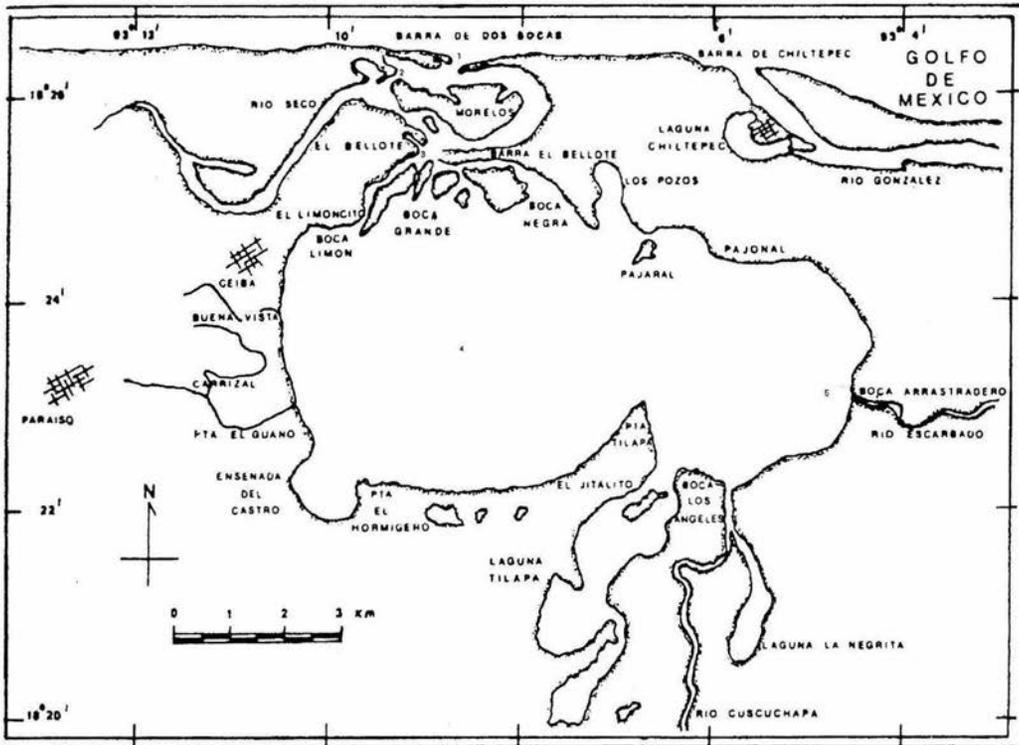
(Contreras, 1993)

Los sedimentos de esta laguna son terrígenos, la mayoría areno-limosos, con cantidades menores de arcilla. En el área central de la laguna los sedimentos se distribuyen en una franja limo-arenosa y en los bordes noreste y sur, sustratos limo-arcillosos (Contreras, 1993; García-Cubas *et al.*, 1990). Su distribución litológica se relaciona con la dinámica del agua y con la existencia de bancos ostrícolas. La tasa promedio de sedimentación fue de 1.5 cm/año. Pertenece

5. METODOLOGIA

De acuerdo a los intereses globales del Proyecto de Investigación "Posición de *V. cholerae* en un circuito microbiano: datos experimentales vs. un estudio experimental" los cuales se centraron en la determinación del nicho ecológico de *Vibrio cholerae* en ambientes salobres, en los mecanismos mediante los cuales la bacteria persiste en aguas naturales salobres y marinas especialmente por su interrelación con microcrustáceos del plancton como los copépodos y su importancia epidemiológica y en base a las fases de la luna -debido a su influencia sobre las mareas-, se programaron cinco muestreos, tres muestreos en época de secas y dos en época de lluvias.

Se seleccionaron cinco estaciones de muestreo. La primera de ellas fue la desembocadura de la laguna al Golfo de México, la estación 2 fue el sitio cercano a la estación petrolera de Dos Bocas, la estación número 3 fueron una serie de canales que vierten sus aguas a la laguna, la cuarta estación fue la laguna y la última estación la desembocadura del río Escarabajo (Ver mapa 2).



Mapa 2. Ubicación de las estaciones de muestreo en la zona de estudio (Tomado de García-Cubas *et al.*, 1990)

Las determinaciones que se realizaron *in situ* fueron: pH, temperatura y oxígeno disuelto; de igual forma, se tomaron muestras por medio de una botella Van Dor, las cuales fueron preservadas y transportadas al laboratorio siguiendo los Métodos Estandarizados (APHA *et al.*, 1992), en donde se les efectuaron los análisis bacteriológicos y fisicoquímicos correspondientes.

Las técnicas fisicoquímicas y bacteriológicas que se emplearon se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos para la toma de muestras y técnicas empleadas en los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos (Cuadro elaborado con datos extraídos de SARH, 1978; Robles *et al.*, 1991 y APHA *et al.*, 1992)

Parámetro	Recipiente	Volumen de la muestra en ml	Preservación	Tiempo máximo de preservación	Técnica
Cloruros	P,V	100			Argentométrico
Conductividad eléctrica	P,V	500	Refrigerar	28d	Conductimétrico
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	P,V	1000	Refrigerar	6h	Dilución
Dureza	P,V	100	Añadir HNO ₃ hasta pH < 2	6 meses	Titulométrico de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético)
Ortofosfatos	P,V	100	Preservar manteniendo la temperatura a -10°C y adicionar 40 mg de HgCl ₂ por litro de muestra		Colorimétrico con cloruro estañoso
Oxígeno Disuelto	V, botella DBO	300	Analizar de inmediato. Retrasar la titulación tras la acidificación	0.5h	Electrométrico Winkler o yodométrico, modificación con azida
Salinidad	V, sello de lacre	240	Analizar de inmediato o emplear sello de lacre	6 meses	
Sólidos	P,V		Refrigerar	7d	Gravimétrico
Sulfatos	P,V		Refrigerar	28d	Turbidimétrico
Sustancias Activas al Azul de Metileno	P,V	500	Refrigerar	24h	Espectrofotométrico al azul de metileno
Temperatura	P,V		Analizar de inmediato	Inmediato	
Coliformes Totales	P,V	120	Analizar de inmediato o refrigerar	1h	Fermentación en tubo múltiple (NMP)
Coliformes Fecales	P,V	500	Analizar de inmediato o refrigerar	1h	NMP
Estreptococos Fecales	P,V	500	Analizar de inmediato o refrigerar	1h	NMP

Refrigerar = conservar a 4°C, en la obscuridad; P = plástico o equivalente; V = vidrio; Inmediato = analizar inmediatamente, conservación no permitida.

Para evaluar los resultados con los datos obtenidos se procedió a calcular el ICA, la relación CF/EF y mediante un análisis estadístico de Componentes Principales se buscaron aquellos parámetros con mayor importancia significativa.

El índice general de calidad de agua se calculó aplicando la ecuación:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

I = Índice de calidad general

I_i = Índice de calidad del parámetro considerado

W_i = Valor de la importancia relativa del parámetro considerado

El índice de calidad del agua se obtiene primero conociendo los índices de calidad de cada parámetro (tabla 2). Cada parámetro tiene un peso preponderante (tabla 3); posteriormente se calcula el índice general de calidad del agua.

El índice de calidad del agua varía de 0 a 100. El valor nulo corresponde al peor caso y el máximo a la calidad óptima (SARH, 1979).

Tabla 2. Índice de calidad individual para cada parámetro para conformar el índice general (Tomado de SARH, 1979)

Parámetro	Índice de calidad individual para cada parámetro	Unidades	Observaciones
pH	$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.923pH}$		Si pH mayor que 7.3
Sólidos supendidos	$I_{ss} = 266.5 (ss)^{-0.37}$	mg/l	
Sólidos disueltos	$I_{sd} = 109.1 - 0.0175(sd)$	mg/l	
Conductividad eléctrica	$I_{CE} = 540(CE)^{-0.379}$		
Alcalinidad	$I_a = 105(a)^{-0.186}$	mg/l como CaCO ₃	
Dureza total	$I_D = 10^{1.974 - 0.00174(D)}$	mg/l como CaCO ₃	
N de nitratos	$I_{NO_3} = 162.2(NO_3)^{-0.343}$	mg/l	
N amoniacal	$I_{NH_3} = 45.8(NH_3)^{-0.343}$	mg/l	
Fosfatos totales	$I_{PO_4} = 34.215(PO_4)^{-0.46}$	mg/l	
Cloruros	$I_{Cl} = 121(Cl)^{-0.223}$	mg/l	
Oxígeno disuelto	$I_{OD} = \frac{(OD)}{OD_{sat}} 100$	OD mg/l a T° de campo OD sat mg/l de saturación a misma T° de campo	La concentración de saturación del oxígeno disuelto se obtiene con la siguiente fórmula: $C_s = 14.6 - 0.3943T + 0.007714T^2 - 0.0000646T^3$ donde C_s = concentración de saturación de OD (mg/l) T = Temperatura puntual en °C
Detergentes	$I_{SAAM} = 100 - 16.670(SAAM) + 0.1587(SAAM)^2$	SAAM en mg/l	
Demanda bioquímica de oxígeno	$I_{DBO} = 120(DBO)^{-0.673}$	DBO en mg/l	
Coliformes totales	$I_{CT} = 97.5(CT)^{-0.27}$	CT = NMP coli/ml	
Coliformes fecales	$I_{EC} = 97.5(5 < EC >)^{-0.27}$	EC = <i>Escherichia coli</i> /ml	

Tabla 3. Importancia relativa de los parámetros para definir el índice de calidad del agua (Tomado de SARH, 1979)

Parámetro	Importancia relativa	Parámetro	Importancia relativa
pH	1.0	N de nitratos	2.0
		N amoniacal	2.0
		Fosfatos totales	2.0
Sólidos suspendidos	1.0	Cloruros	0.5
Sólidos disueltos	0.5	Oxígeno disuelto	5.0
		DBO	5.0
Conductividad eléctrica	2.0	Coliformes totales	3.0
Alcalinidad	1.0	Coliformes fecales	4.0
Dureza total	1.0	Detergentes (SAAM)	3.0

Los estreptococos fecales se han utilizado junto con los coliformes fecales, para diferenciar la contaminación fecal humana de la de otros animales de sangre caliente.

De esta manera, se ha propuesto que una proporción entre coliformes fecales y estreptococos fecales superior a 4 indicaría una contaminación fecal humana, mientras que una relación inferior a 0,7 sugeriría una contaminación de origen no humano (APHA *et al.*, 1992).

Para cada uno de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos analizados, se calcularon las medias y desviaciones estándar por estación y muestreo. Asimismo, se elaboraron diagramas de caja para cada parámetro. El análisis de componentes principales se utilizó con el fin de poder determinar cual (es) de los parámetros están correlacionados y cuales son los que más explican el comportamiento de los datos. El análisis de discriminantes se aplicó por estación y muestreo, con el fin de poder establecer diferencias significativas entre las estaciones y puntos de muestreo, y además establecer que parámetros son los que se diferencian. Para tal fin se calcularon las funciones discriminantes, se elaboró el diagrama de dispersión con las funciones discriminantes y se obtuvieron las distancias de Mahalanobis. Estas últimas se utilizaron como medidas para determinar semejanzas y diferencias en las estaciones y puntos de muestreo.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

6.1.1 RESULTADOS POR MUESTREO

Los resultados del análisis estadístico descriptivo por muestreo se presentan en la tabla 4 y figuras de la 1 a la 7.

Como se puede observar en la tabla 4 y en la figura 3, en la laguna de Mecocacán los valores promedio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) fluctuaron entre 0.64 en el muestreo 5 (noviembre) y 2.33 en el muestreo 4 (agosto).

De acuerdo a los resultados obtenidos en la demanda bioquímica de oxígeno para la laguna de Mecocacán, se puede mencionar que existe un ligero aporte de materia orgánica a la laguna, probablemente proveniente del manglar que la rodea, así como del lirio acuático arrastrado por los ríos que desembocan en la misma; además también introducen lirio las corrientes provenientes de otros ríos que desembocan al mar, como es el caso del río González (Contreras, 1985); sin embargo, la degradación de estos compuestos orgánicos se da en su mayor parte por vía microbiana en condiciones aerobias. De ahí que aunque exista algo de aporte de material orgánico en la laguna, su empleo por los organismos es inmediato no permitiéndose un tiempo de residencia grande con lo cual pudiera desencadenarse un proceso secundario de eutroficación, manteniéndose de esta manera una alta productividad de dichos sistemas (Botello, 1982).

La DBO expresa la cantidad de O_2 que necesitan los microorganismos para biodegradar la materia orgánica (Seoanez, 1995) y ha sido utilizada como una medida de comparación entre los diferentes tipos de aguas, especialmente para aquellas afectadas por contaminación orgánica (Maitland, 1990).

En base a esto, Maitland en 1990 plantea una clasificación para aguas naturales que presentan contaminación orgánica en la que se les otorga un valor de DBO de 0 a 1 mg / l a las aguas naturales muy limpias, de 1 a 2.5 mg / l para las aguas naturales limpias, medianamente limpias con valores de DBO de 2.5 a 4 mg / l, dudoso de 4 a 6 mg / l, pobre de 6 a 10 mg / l, malo de 10 a 15 mg / l, muy malo de 15-20 mg / l y extremadamente malo con valores de DBO > 20 mg / l. Según esta clasificación para la laguna de Mecocacán en su muestreo 1 (1.62 enero), muestreo 2 (1.67 abril), muestreo 3 (2.13 junio) y el muestreo 4 (2.33 agosto) el agua fue limpia y para el muestreo 5 (0.64 noviembre) el agua fue muy limpia (Tabla 4 y figura 3).

Como se puede observar en la tabla 4, los valores promedio de los sólidos totales estuvieron entre 23611.00 en el muestreo 2 (abril), y en el muestreo 5 (noviembre) de 11905.50.

La determinación de los sólidos totales los cuales incluyen a los sólidos disueltos y suspendidos adquiere importancia en el entendimiento de las condiciones productivas, sobre todo de especies

de importancia pesquera en las lagunas costeras. Lo anterior debido a que las lagunas costeras son ambientes de transición cambiantes en sus aspectos hidrológicos, biológicos y geomorfológicos; en este último el aporte de materiales disueltos y suspendidos procedente de tierra adentro, es el responsable de las modificaciones geográficas tempranas. Los terrígenos aportados por los ríos, arroyos y escurrimientos juegan un papel importante en la generación de barras y consecuentemente en el aislamiento de cuerpos de agua costeros, modificando su batimetría y azolvando las comunicaciones efímeras con el ambiente marino, dando como resultado la escasa o nula penetración de la biota (De la Lanza, 1986).

Como se puede observar en la tabla 4, el valor promedio de salinidad más alto se registró en el muestreo efectuado en época de secas (muestreo 1, enero, con 22.25), mientras que el valor más bajo se registró en temporada de lluvias (muestreo 5, noviembre, con 14.04). Esto se debe a que la salinidad varía en la medida de la dominancia de las dos masas de agua. En época de lluvias la dominante dulceacuícola se hace evidente. En el caso contrario, esto es durante el estiaje, el agua marina se extiende en todo el sistema lagunar, e inclusive, si se ve aislada y se manifiesta una alta evaporación, se traduce en hipersalinidad (Mandelli y Vazquez, 1976 citados por Contreras y Zabalegui, 1988).

En México, los regímenes climáticos de estiaje y lluvia propician en las lagunas cambios drásticos en la salinidad (Contreras, 1993). Las lagunas muestran considerables variaciones en su salinidad, tanto en el espacio como en el tiempo, ya que la mayoría de ellas recibe afluentes de ríos cuyo volumen cambia en cada estación (Colombo, 1977 citado en Contreras, 1993).

Este parámetro tiene gran importancia, ya que es uno de los factores que limitan el desarrollo de los cultivos de ostión en la zona.

Como se puede observar en la tabla 4 y en la figura 1, para los valores de conductividad eléctrica el valor más bajo fue el del muestreo 5 (noviembre, con 19425.0) el cual correspondió a la temporada de lluvias además de presentarse el huracán Paulina durante este muestreo, mientras que el valor más alto fue el del muestreo 2 (abril, con 36646.8) el cual correspondió a la temporada de secas.

El agua químicamente pura no conduce la electricidad (Voznaya, 1987) debido al bajo grado de disolución iónica que presenta. Por tanto, para que su conductividad aumente será preciso que haya compuestos disueltos en el agua y disociados en sus iones. Estos compuestos los constituyen en su mayoría las sales minerales (Seoanez, 1995).

Este parámetro es importante porque una medida de la conductividad de un agua nos dará una estimación acerca de la concentración aproximada de las sales minerales presentes. No nos aportará sin embargo información acerca de la contaminación orgánica de un agua en el caso de que ésta exista, pues las materias orgánicas del agua apenas modifican su conductividad (Seoanez, 1995). Cualquier alza en la conductividad del agua indica contaminación con electrolitos (Voznaya, 1987).

Como se puede observar en la tabla 4 y en la figura 2, la temperatura más baja correspondió al muestreo 1 efectuado en época de secas (enero, con 23.31), lo cual puede ser consecuencia de que se realizó durante la época invernal por lo que la temperatura disminuyó en relación a las condiciones climáticas de este periodo del año.

En cuanto al muestreo 2 (abril) efectuado en época de secas, presentó la temperatura más alta de los cinco muestreos con un valor de 29.70. Sin embargo, la entrada de la temporada de lluvias (junio) se dio de manera tardía por lo que la temperatura no tuvo grandes cambios entre el final de la época de secas y el inicio de la época de lluvias.

Lo anterior coincide con lo expuesto por García-Cubas *et al.*, 1990, quien menciona que en la laguna de Mecoaacán las temperaturas mínimas promedio corresponden a los primeros meses invernales, a partir de los cuales se registra un ascenso que coincide con la primavera. Al inicio de la época de lluvias, a partir del mes de junio, la temperatura disminuye como consecuencia de los aportes de agua dulce que recibe la laguna. Posteriormente, al finalizar los meses lluviosos se registra un ligero aumento en los valores promedio, seguido finalmente de un enfriamiento invernal.

Como se puede observar en la tabla 4 y en la figura 4, el oxígeno disuelto tuvo valores por encima de los 3 a 4 mg / l en los cinco muestreos por lo que se puede mencionar que el oxígeno disuelto se encuentra en valores que permiten que estos no ejerzan presión sobre la mayoría de los organismos acuáticos así como por arriba del ámbito crítico para la sobrevivencia de los peces. Esto se debe a que los valores promedio para el oxígeno disuelto en la laguna tuvieron valores desde 3.41 en el muestreo 1 (enero) hasta 6.40 en el muestreo 2 (abril). Ambos muestreos pertenecen a la temporada de sequía en la región.

El oxígeno disuelto en el agua es un elemento primordial para la existencia de la biota acuática. En los ecosistemas acuáticos procede principalmente de dos fuentes: de la atmosférica y de su generación por los productores primarios (Contreras, 1993).

De acuerdo a Bales y Conklin (1997) los niveles de oxígeno disuelto menores a 3 mg / l ejercen presión sobre la mayoría de los organismos acuáticos. A este respecto, Ramírez *et al.*, 1995 mencionan que, en general el ámbito crítico para la sobrevivencia de los peces, es de 3 a 4 mg / L.

Como se puede observar en la tabla 4 y en la figura 5, la dureza total tuvo valores promedio que fluctuaron desde 2868.56 en el muestreo 5 (noviembre) hasta 4072.23 en el muestreo 2 (abril). La dureza en aguas superficiales beneficia a los peces debido a que disminuye la toxicidad de los metales pesados (Dojlido, 1995).

La dureza de un agua corresponde a la suma de las concentraciones de los cationes metálicos. En la mayoría de los casos, la dureza se debe principalmente a los iones calcio y magnesio, a los que se suman a veces los iones hierro, manganeso y estroncio (Seoanez, 1995).

Holder (1970 citado en Dojlido, 1995) plantea una clasificación para la dureza del agua en la que se otorga un valor de 0-50 mg CaCO₃ / l al agua suave, de 50-100 mg CaCO₃ / l para el agua

moderadamente suave, escasamente dura de 100-150 mg CaCO₃ / l, moderadamente dura de 150-200 mg CaCO₃ / l, dura de 200-300 mg CaCO₃ / l y muy dura por arriba de 300 mg CaCO₃ / l. De acuerdo a esta clasificación se puede mencionar que el agua de la laguna de Mecoacán con valores promedio por arriba de los 300 mg CaCO₃ / l es muy dura (Tabla 4 y figura 5).

A pesar de que no se considera como un parámetro hidrológico de rutina en ambientes costeros, dada la influencia del mar, la determinación del ión sulfato tiene importancia por que procede del lavado de terrenos circundantes y es una estimación que se considera dentro del cuadro de la calidad de aguas naturales (De la Lanza, 1986).

De acuerdo a De la Lanza (1986) el gradiente de la concentración de sulfatos puede variar desde el agua dulce con 0.22 g / l equivalente a 220 mg / l, hasta la netamente marina con 2.22 g / l equivalente a 2,220 mg / l. Tomando en cuenta lo anterior, en la laguna de Mecoacán se notó un gradiente en la concentración de sulfatos desde el agua dulce en el muestreo 5 (noviembre) de 923.05 hasta la netamente marina del muestreo 2 (abril) de 2397.19. Lo expuesto anteriormente permite afirmar que en este cuerpo de agua la influencia oceánica fue mayor en el muestreo 2 (abril) y en el muestreo 3 (junio), mientras que la influencia de los ríos y canales que desembocan en la laguna se notó principalmente en los muestreos 1 (enero), 4 (agosto) y 5 (noviembre) (Tabla 4 y figura 4).

En conjunto, se considera a los coliformes como indicadores, ya que indican la existencia de heces humanas o animales. En las heces se pueden encontrar todo tipo de coliformes (APHA *et al.*, 1992). En la laguna de Mecoacán, los valores logarítmicos promedio de los coliformes totales variaron desde 1.26 del muestreo 3 (junio) hasta 2.18 para el muestreo 1 (enero), dichos valores fueron el más bajo y el más alto de los coliformes totales respectivamente (Tabla 4).

Como se puede observar en la tabla 4 y en la figura 6, los coliformes fecales presentaron el valor promedio para el muestreo 1 (enero) de 0.78, de 1.18 para el muestreo 2 (abril), de 0.65 en el muestreo 3 (junio), en el muestreo 4 (agosto) de 1.19 y de 1.56 del muestreo 5 (noviembre). Los valores más bajos se registraron en los meses secos y los más altos en temporada de lluvias probablemente debido a que las descargas de aguas negras procedentes de los asentamientos humanos cercanos a la laguna llegan a esta procedentes de los ríos y canales que desembocan en ella.

La sola presencia de coliformes indica contaminación por descargas domésticas, y consecuentemente desde el punto de vista ecológico y de las especies ostrícolas que ahí se cultivan, representan un peligro potencial. La distribución generalizada de dichos microorganismos en todo el sistema lagunar puede ser atribuido al proceso dinámico de las mareas y escurrimientos (De la Lanza, 1986).

Tabla 4. Valores de las medias y desviaciones estándar por muestreo en la laguna de Mecoacán

Parámetro	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Valor mínimo	Valor máximo
DBO ₅	1.62 (0.49)	1.67 (0.55)	2.13 (0.64)	2.33 (0.55)	0.64 (0.24)	0.64	2.33
Sólidos totales	19234.25 (10148.63)	23611.00 (9139.11)	20773.13 (8924.28)	18720.25 (7465.99)	11905.50 (5476.71)	11905.50	23611.00
Salinidad	22.25 (9.10)	19.38 (7.56)	18.20 (9.07)	19.13 (8.20)	14.04 (8.50)	14.04	22.25
Conductividad eléctrica	292625.0 (135106.2)	36646.8 (21556.1)	29337.5 (18417.0)	29337.5 (11253.2)	19425.0 (11358.0)	19425.0	292625.0
Temperatura	23.31 (0.53)	29.70 (1.76)	28.75 (3.11)	28.66 (2.07)	26.19 (0.59)	23.31	29.70
Oxígeno disuelto	3.41 (0.44)	6.40 (1.07)	5.66 (0.71)	4.89 (1.64)	4.13 (1.17)	3.41	6.40
Dureza total	3592.42 (1553.99)	4072.23 (1516.80)	3605.08 (1847.39)	3839.50 (1429.14)	2868.56 (1563.89)	2868.56	4072.23
Sulfatos	1274.65 (551.46)	2397.19 (740.85)	7936.33 (6059.36)	1217.15 (508.97)	923.05 (584.00)	923.05	7936.33
Coliformes totales	2.18 (0.86)	1.47 (0.72)	1.26 (0.36)	1.47 (0.63)	1.70 (0.65)	1.26	2.18
Coliformes fecales	0.78 (0.88)	1.18 (0.77)	0.65 (0.52)	1.19 (0.78)	1.66 (0.57)	0.65	1.66

Figura 1. Diagramas de caja por muestreo para la conductividad.

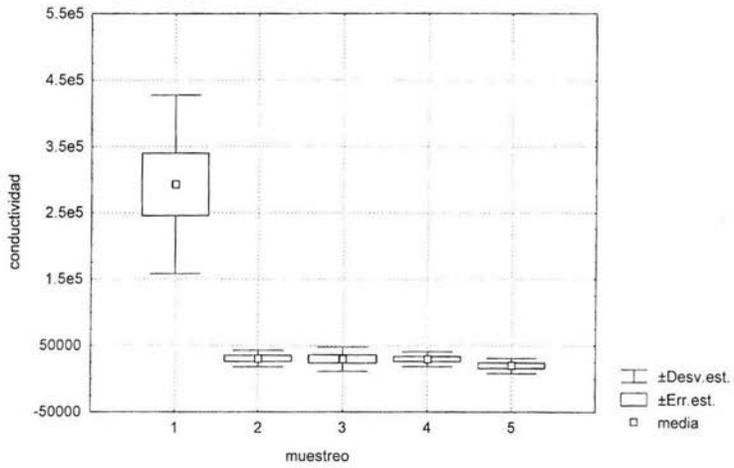


Figura 2. Diagramas de caja por muestreo para la temperatura.

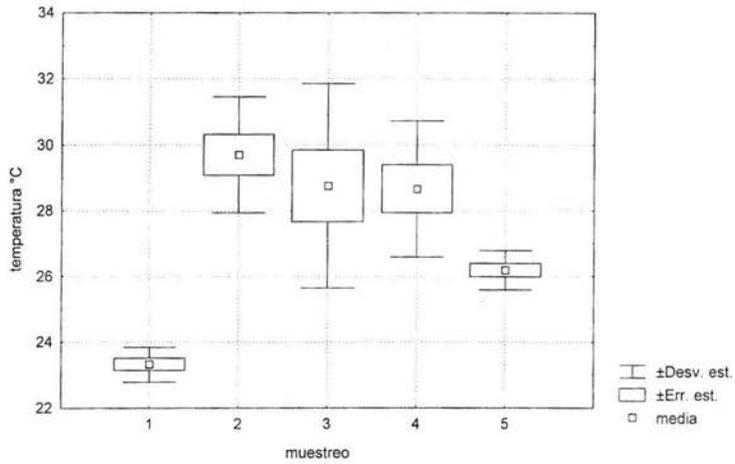


Figura 3. Diagramas de caja por muestreo para DBO.

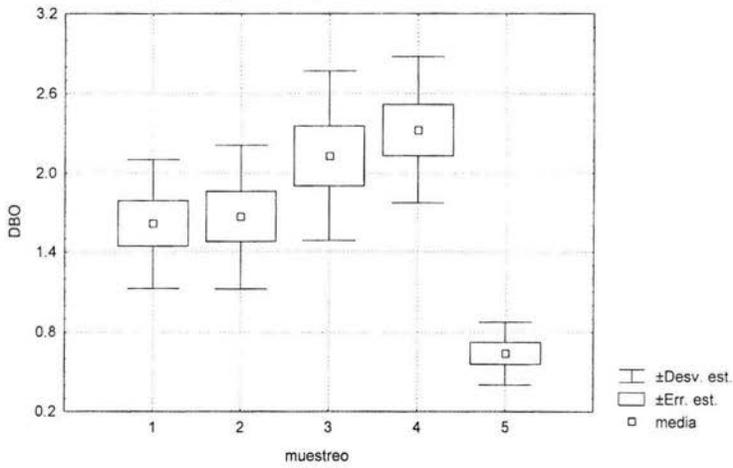


Figura 4. Diagramas de caja por muestreo para sulfatos.

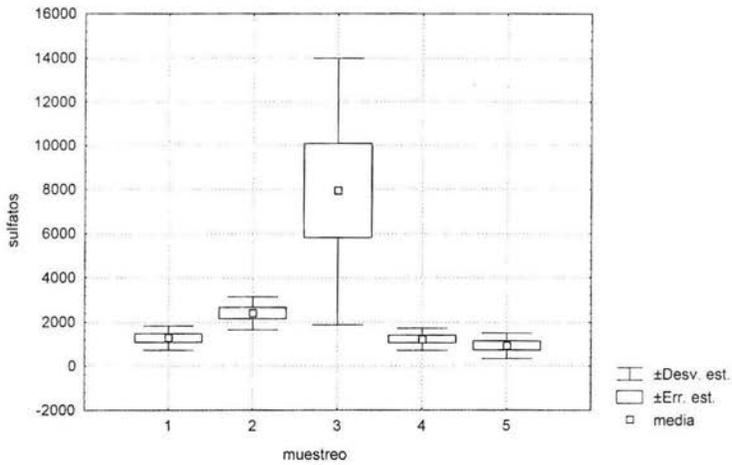


Figura 5. Diagrams de caja por muestreo para la dureza total.

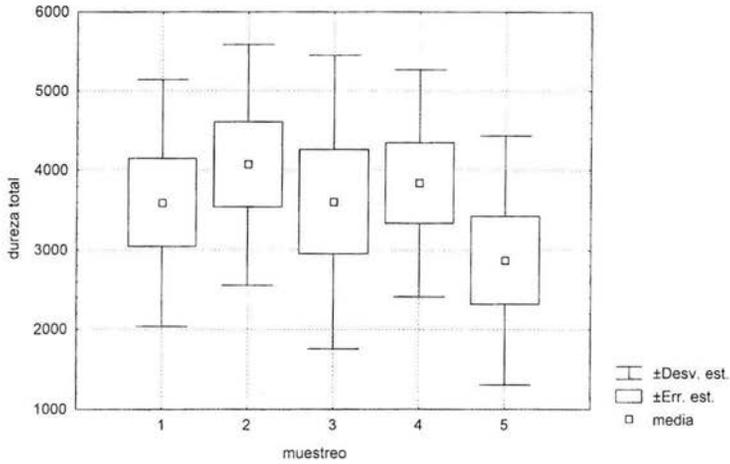
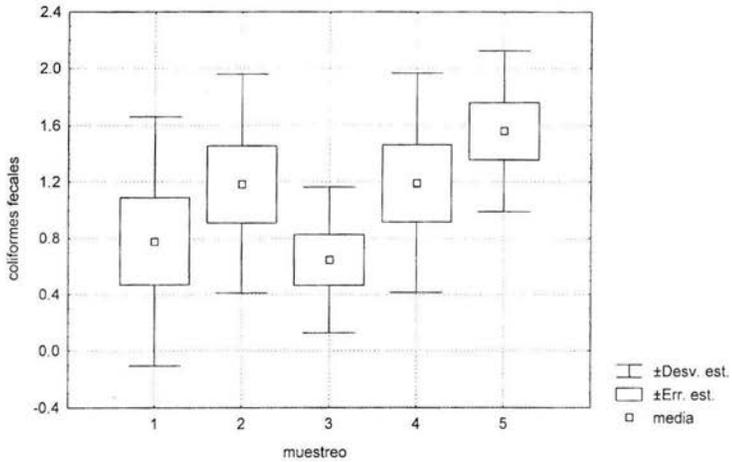
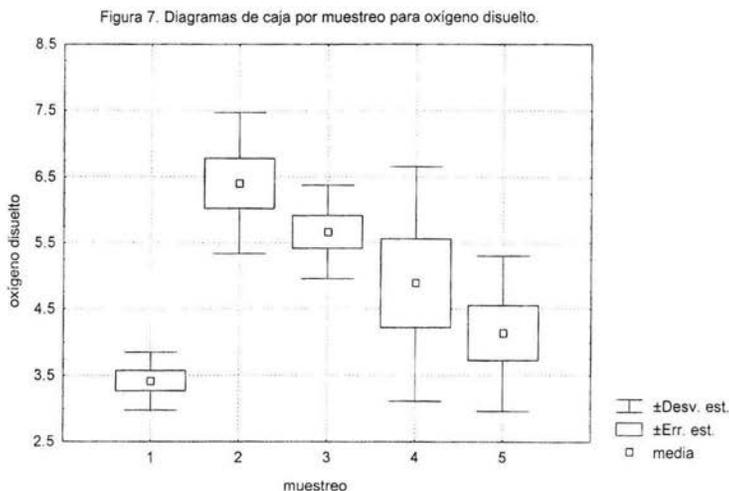


Figura 6. Diagrams de caja por muestreo para coliformes fecales.





6.1.2 RESULTADOS POR ESTACION DE MUESTREO

Los resultados obtenidos del análisis estadístico por estación de muestreo se presentan en la tabla 5 y figuras 8 a la 16.

Como se mencionó anteriormente la demanda bioquímica de oxígeno ha sido utilizada para comparar diferentes aguas naturales, especialmente para aquellas afectadas por contaminación orgánica. Según lo anterior y con base en la clasificación planteada por Maitland (1990) el agua en las cinco estaciones de muestreo de la laguna de Mecoaacán (desembocadura al Golfo de México, estación petrolera Dos Bocas, serie de canales, estación laguna y en la estación desembocadura del río Escarbado), pueden considerarse como aguas limpias.

Esto se puede observar en la tabla 5 y en la figura 10, en donde los valores promedio de la demanda bioquímica de oxígeno fluctuaron entre 1.20 de la estación 1 (desembocadura al Golfo de México) y 2.29 de la estación 5 (desembocadura del río Escarbado). Los valores de la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas) fueron de 1.65 y de 1.52 para la estación 3 (serie de canales), mientras que para la estación 4 (laguna) fue de 1.92.

Como se puede observar en la tabla 5 y en la figura 16, los valores promedio de los sólidos totales en las estaciones de muestreo 2 (estación petrolera Dos Bocas), 3 (serie de canales) y 4 (laguna) fluctuaron entre 16639.40 y 18188.00 siendo ligeramente mayor para la estación 1

(desembocadura al Golfo de México) con un valor de 26064.00 y menor para la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) de 4924.00.

En un cuerpo acuático como lo es la laguna de Mecoacán la presencia de materias sólidas en disolución y en suspensión le confiere a esta un grado de turbidez tal que en ocasiones puede impedir el paso de la luz a partir de determinadas profundidades, con los desequilibrios que ello puede acarrear.

En el caso de la salinidad, como se muestra en la tabla 5 y en la figura 12, los valores promedio para la estación de muestreo 1 (desembocadura al Golfo de México), para la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas), para la estación 3 (serie de canales), para la estación 4 (laguna) y para la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) fueron de 25.04, 16.86, 16.04, 14.94 y 4.48. Los datos de la salinidad demuestran la existencia de una corriente marina de aguas con alta salinidad proveniente del Golfo de México (estación 1, desembocadura al Golfo de México), la cual penetra dentro de la laguna mezclándose con agua dulce aportada por los ríos que desembocan en la laguna, originándose una masa de agua con valores intermedios de salinidad en la parte central de la laguna y una masa de agua de baja salinidad hacia la desembocadura del río Escarbado (estación 5).

Los cuerpos acuáticos costeros poseen la característica de una mezcla de agua de diferente origen. Esta característica es fundamental en el comportamiento ecológico, ya que varía en el espacio y en el tiempo (Contreras y Zabalegui, 1988), reflejando los patrones de salinidad una gran influencia de la marea, la descarga de los ríos y la acción de los vientos dominantes como agentes primarios de cambio (Botello, 1978).

Como se puede observar en la tabla 5, en la conductividad eléctrica se presentaron valores promedio muy altos en la estación 1 (desembocadura al Golfo de México) de 108954.9 y muy bajos para la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) de 15660; la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas), la estación 3 (serie de canales) y la estación 4 (laguna) tuvieron valores de 75440, 77220 y 62560 respectivamente.

La conductividad eléctrica se emplea para indicar la concentración de sal en las aguas naturales, en la laguna de Mecoacán las estaciones de muestreo con mayor salinidad (estación 1, desembocadura al Golfo de México) también tuvieron valores altos en la conductividad eléctrica, mientras que las estaciones con menor salinidad tuvieron valores más bajos de conductividad eléctrica (estación 5, desembocadura del río Escarbado).

De acuerdo con Ramírez *et al.*, 1995 en la laguna de Mecoacán existe una tendencia al incremento en la temperatura de la masa de agua hacia el interior, lo cual puede ser el resultado de la poca profundidad del cuerpo de agua (90 cm en promedio) y la entrada del agua de mar durante los ciclos de marea alta en combinación con la incidencia de luz solar. Esto mismo lo pudimos constatar, ya que las temperaturas más bajas se ubicaron en la desembocadura al Golfo de México (estación 1) y la desembocadura del río Escarbado (estación 5) mientras que al interior de la laguna se ubicaron las temperaturas más altas.

Como se puede observar en la tabla 5, los valores promedio de la temperatura fueron 26.86 (estación 1, desembocadura al Golfo de México) el cual fue el valor más bajo de todas las estaciones de muestreo; para la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas) fue de 27.66, de 28.04 para la estación 3 (serie de canales), de 28.36 para la estación 4 (laguna) y para la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) de 28.14.

Como se puede observar en la tabla 5 y en la figura 8, el oxígeno disuelto en la laguna de Mecoacán varió entre 5.83 en la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas) y de 4.28 en la estación 5 (desembocadura del río Escarbado). Los valores de oxígeno disuelto fueron muy similares para las cinco estaciones de muestreo, presentándose los valores más altos en la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas) y los más bajos en la estación 5 (desembocadura del río Escarbado). De manera general, en la laguna de Mecoacán los niveles de oxígeno disuelto se encuentran en valores que no permiten que estos ejerzan presión sobre la mayoría de los organismos acuáticos así como por arriba del ámbito crítico para la sobrevivencia de los peces.

Como se puede observar en la tabla 5 y en la figura 9, los ortofosfatos presentaron el valor más bajo en la estación 1 (desembocadura al Golfo de México) con un valor de 0.02, mientras que el valor más alto fue de 0.12 en la estación 5 (desembocadura del río Escarbado).

El Diario Oficial de la Federación del 13 de diciembre de 1989 establece los límites máximos permisibles para la protección de la vida acuática (0.002) para el fósforo (orto- PO_4). Con base en esto, se puede mencionar que en todas las estaciones de muestreo fue rebasado el valor estipulado en esta publicación. Este parámetro es importante debido a que los nutrientes principales son las formas fosfatadas y las nitrogenadas, estas últimas representadas por el amonio, los nitratos y los nitritos. Las lagunas costeras reciben un aporte continuo de ellos por conducto de los ríos, las lluvias o el reciclamiento que se lleva a cabo en la interfase sedimento-agua (Nixon *et al.*, 1976 citado en Contreras y Zabalegui, 1988). Los nutrientes son considerados como los principales limitantes en los procesos fotosintéticos (Riley y Chester, 1971; Horne, 1973 citado en Contreras y Zabalegui, 1988).

En virtud de que el uso de los detergentes es cada vez mayor tanto a nivel industrial como doméstico, su concentración aumenta día con día en aguas superficiales. En sistemas lagunares y estuarinos el daño de dicha contaminación radica en la adición de compuestos fosforados, produciendo un enriquecimiento de este nutrimento y consecuentemente una proliferación de especies nocivas, así como la modificación del equilibrio en la interfase agua- atmósfera (De la Lanza, 1986).

De acuerdo a la "Legislación Relativa al Agua y su contaminación" (SRH, 1975) citada en Botello (1982), que establece un valor permisible de sustancias activas de azul de metileno (detergentes) de 0.5 mg / l, se puede mencionar que todas las estaciones de muestreo rebasan este límite. Sin embargo, los valores promedio obtenidos en la laguna de Mecoacán no son muy elevados ya que fluctuaron entre 0.84 y 1.05 siendo detectado el valor más bajo en la estación 1 (desembocadura al Golfo de México, medio marino) y el valor más alto en la estación 5 (desembocadura del río Escarbado, con influencia de agua dulce). La presencia generalizada de

estos compuestos puede deberse a los procesos de difusión por escurrimientos y mareas (De la Lanza, 1986) (Tabla 5).

De acuerdo con la clasificación de Holder (1970, citado en Dojlido, 1995) mencionada anteriormente de los diferentes grados de dureza, tenemos que el agua de la laguna de Mecoacán con valores promedio entre 1032.24 (estación 5, desembocadura del río Escarbado) y 4783.78 (estación 1, desembocadura al Golfo de México), es muy dura (Tabla 5 y figura 13).

Como se puede observar en la tabla 5 y en la figura 13, los valores promedio de dureza total más altos se registraron en la estación 1 (desembocadura al Golfo de México) y los más bajos en las estaciones 4 (laguna) y 5 (desembocadura del río Escarbado).

En la tabla 5 y en la figura 11, se observa que los valores promedio de los sulfatos variaron entre 947.48 y 4949.96. Los valores más altos se registraron en la estación 1 (desembocadura al Golfo de México) y los más bajos en la estación 5 (desembocadura del río Escarbado). Los iones sulfatos son muy frecuentes en las aguas naturales, debido al poder de disolución que tiene el agua sobre los minerales contenidos en la corteza terrestre (SARH, 1978).

De acuerdo al gradiente en la concentración de sulfatos, mencionado anteriormente, que plantea De la Lanza (1986) desde el agua dulce con 0.22 g / l equivalente a 220 mg / l, hasta la netamente marina con 2.22 g / l equivalente a 2,220 mg / l, en la laguna de Mecoacán se observó un gradiente en la concentración de sulfatos desde el agua dulce en la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) con el valor promedio más bajo de las cinco estaciones de muestreo, hasta la netamente marina de la estación 3 (serie de canales). Sin embargo, en la laguna se nota muy marcada la influencia oceánica pues en casi todas las estaciones de muestreo las concentraciones de sulfatos fueron netamente marinas, excepto en la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) en la que la influencia del río Hondo o Escarbado en la laguna marcó concentraciones correspondientes al agua dulce (Tabla 5 y figura 11).

Las bacterias han sido utilizadas durante mucho tiempo como indicadores de condiciones atípicas ó anormales del medio ambiente y el indicador más usado en este tipo de aguas es el grupo coliforme, el cual como ya se mencionó anteriormente se emplea para detectar la presencia y el nivel de contaminación fecal (Kabler *et al.*, 1964 citado en Botello, 1982).

Como se puede observar en la tabla 5 y en la figura 14, el valor promedio de coliformes totales más alto se registró en la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) con 2.39 y el más bajo en la estación 3 (serie de canales) con 1.07. Otro de los valores más altos fue el de la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas) con 1.94.

Los valores promedio de los coliformes fecales más altos fueron los de la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) seguido de las estaciones 2 (estación petrolera Dos Bocas) y 1 (desembocadura al Golfo de México). Los valores más bajos fueron los de las estaciones 4 (laguna) y 3 (serie de canales) de 0.47 y 0.58 respectivamente (Tabla 5 y figura 15).

La presencia generalizada de los coliformes totales y coliformes fecales puede deberse a fenómenos de dilución y sedimentación, ya que se tiene el aporte de los ríos Tilapa, La Nayarita y Seco en la laguna Mecoacán, cuyas aguas contienen gran cantidad de material orgánico particulado en suspensión al que van adheridas cantidades muy variadas de bacterias (Botello, 1982).

Tabla 5. Valores de las medias y desviaciones estándar por estación de muestreo en la laguna de Mecoacán

Parámetro	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Valor mínimo	Valor máximo
DBO ₅	1.20 (0.40)	1.65 (0.67)	1.52 (0.47)	1.92 (0.63)	2.29 (0.92)	1.20	2.29
Sólidos totales	26064.00 (8356.62)	17984.40 (5446.39)	18188.0 (4732.31)	16639.40 (4538.09)	4924.00 (3763.99)	4924.00	26064.00
Salinidad	25.04 (8.98)	16.86 (3.80)	16.04 (4.15)	14.94 (3.80)	4.48 (3.36)	4.48	25.04
Conductividad eléctrica	108954.9 (136021.3)	75440.0 (96226.5)	77220.0 (112231.2)	62560.0 (98296.8)	15660.0 (18827.5)	15660.0	108954.9
Temperatura	26.86 (2.71)	27.66 (3.13)	28.04 (3.72)	28.36 (3.43)	28.14 (3.29)	26.86	28.36
Oxígeno disuelto	5.52 (1.33)	5.83 (1.52)	5.12 (1.21)	5.69 (1.36)	4.28 (1.43)	4.28	5.83
Ortofosfatos	0.02 (0.04)	0.10 (0.12)	0.04 (0.04)	0.07 (0.13)	0.12 (0.17)	0.02	0.12
SAAM	0.84 (1.37)	1.02 (1.72)	1.05 (1.82)	1.00 (1.66)	1.08 (1.84)	0.84	1.08
Dureza total	4783.78 (1436.17)	3740.70 (868.66)	3198.18 (609.71)	2808.88 (647.55)	1032.24 (549.03)	1032.24	4783.78
Sulfatos	4949.96 (7554.54)	2210.84 (1942.52)	2243.90 (2507.56)	1846.04 (1334.36)	947.48 (1013.06)	947.48	4949.96
Coliformes totales	1.64 (0.88)	1.94 (0.37)	1.07 (0.52)	1.18 (0.41)	2.39 (1.05)	1.07	2.39
Coliformes fecales	1.20 (0.88)	1.51 (0.80)	0.58 (0.39)	0.47 (0.38)	1.69 (0.67)	0.47	1.69

Figura 8. Diagramas de caja por estación de muestreo para oxígeno disuelto.

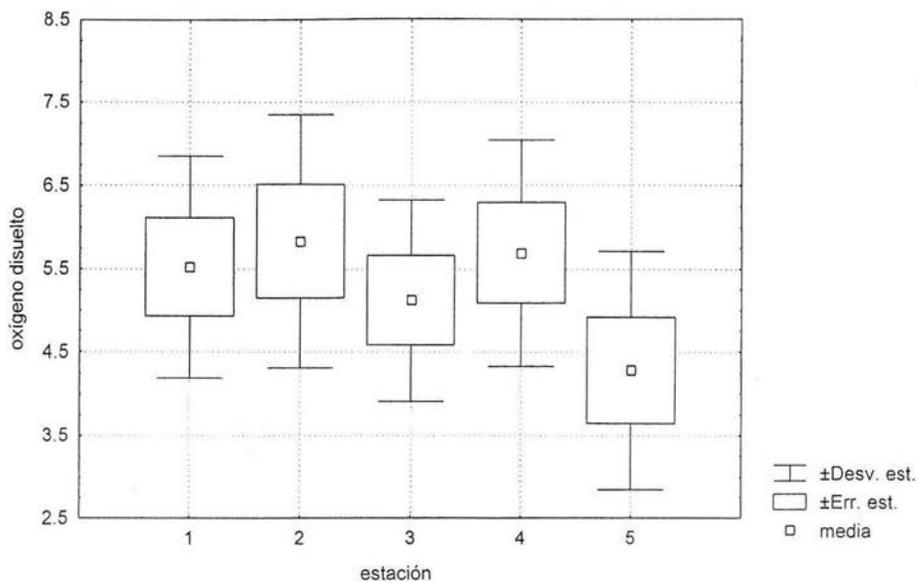


Figura 9. Diagramas de caja por estación de muestreo para ortofosfatos.

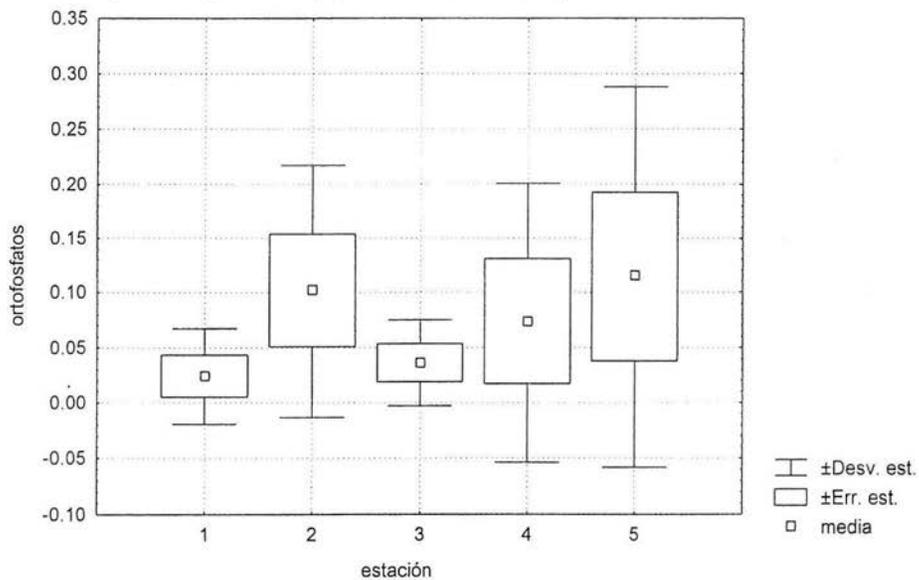


Figura 10. Diagramas de caja por estación de muestreo para la DBO.

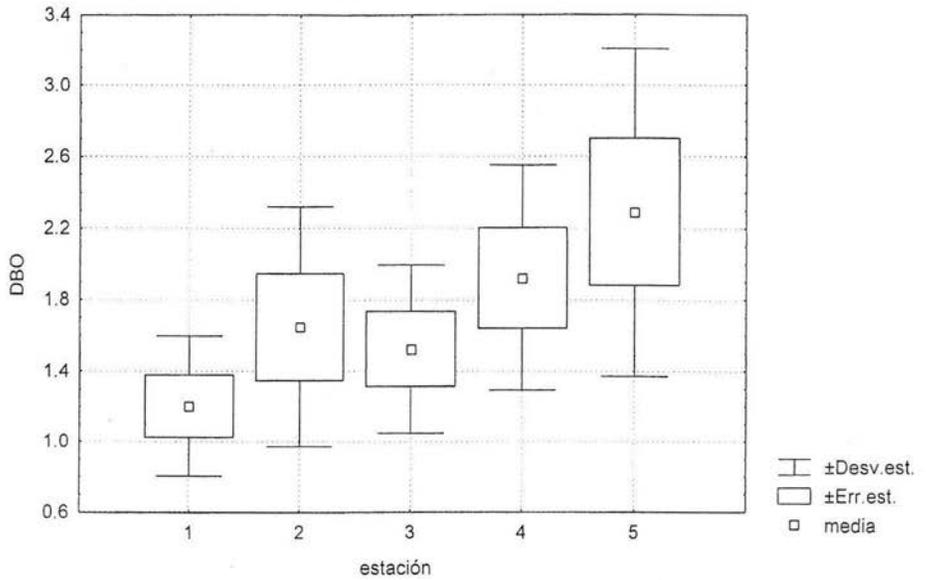


Figura 11. Diagramas de caja por estación de muestreo para sulfatos.

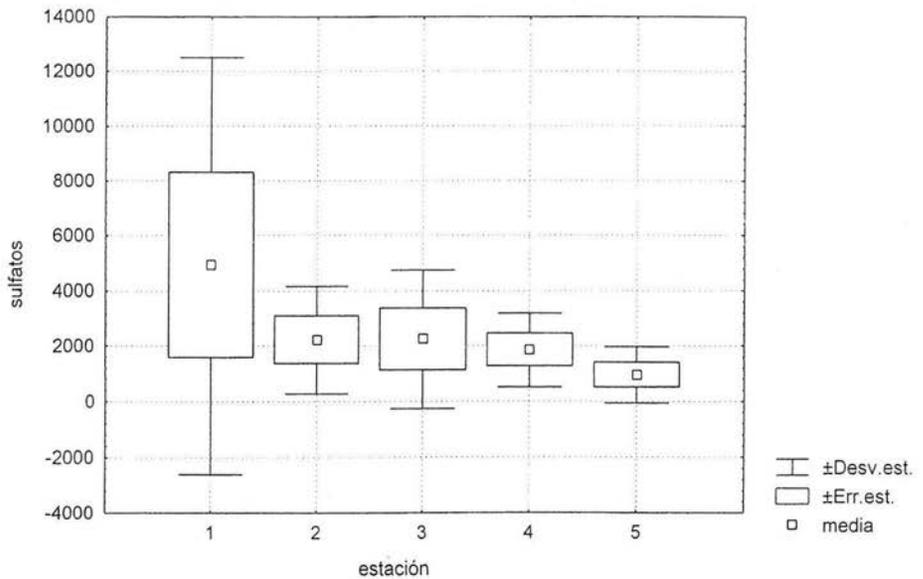


Figura 12. Diagrams de caja por estación de muestreo para salinidad.

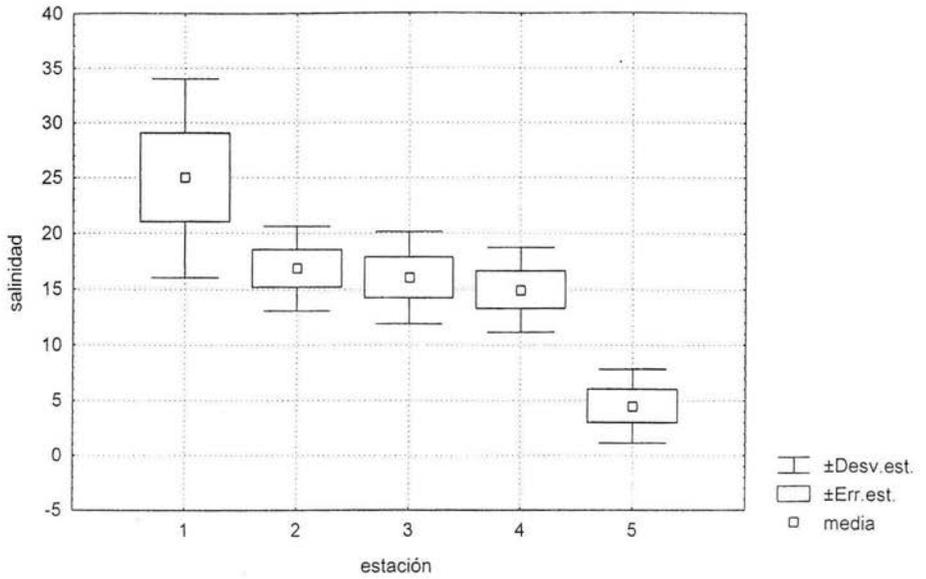


Figura 13. Diagramas de caja por estación de muestreo para dureza total.

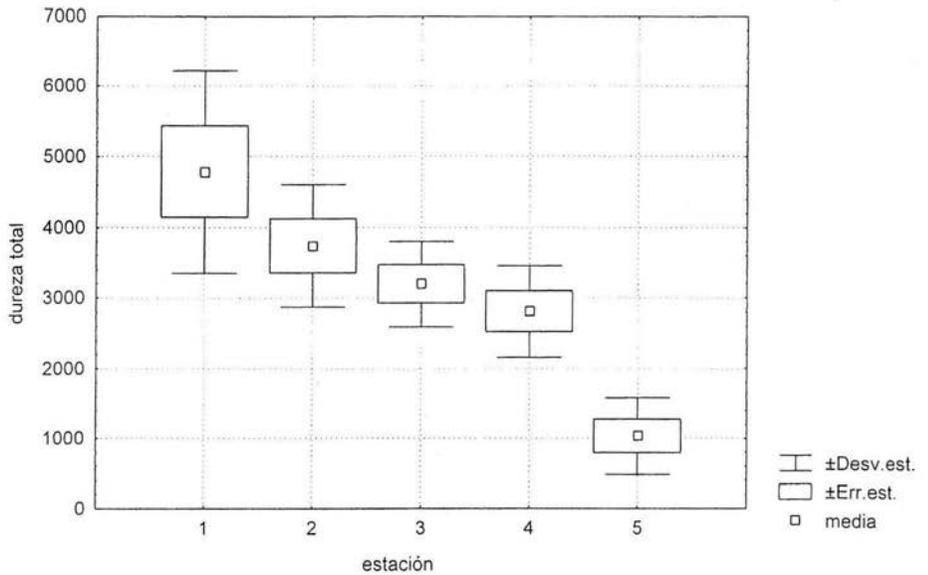


Figura 14. Diagramas de caja por estación de muestreo para coliformes totales.

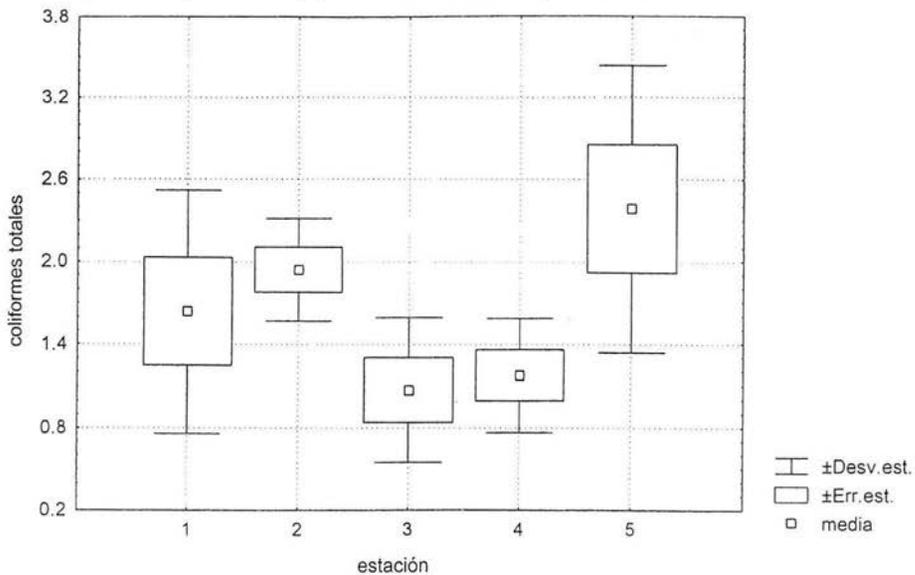


Figura 15. Diagramas de caja por estación de muestreo para coliformes fecales.

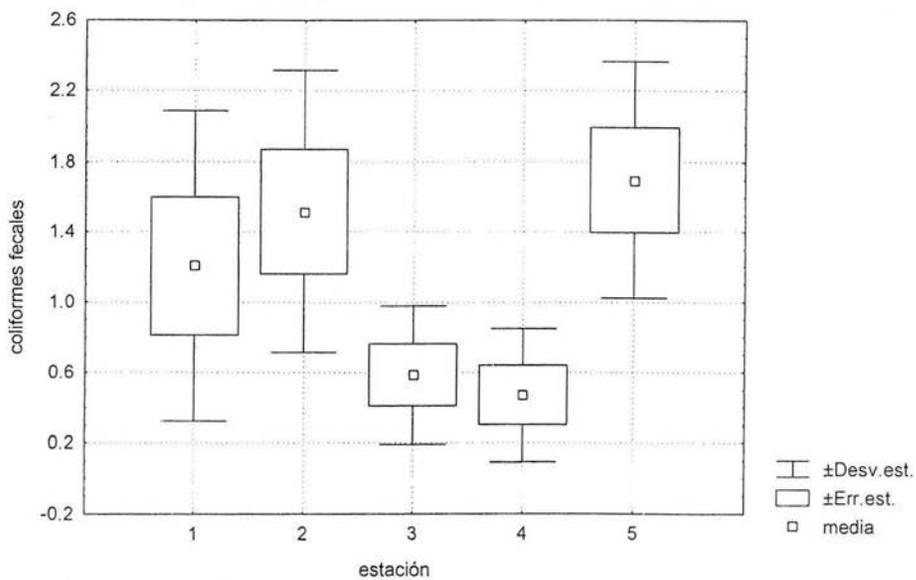
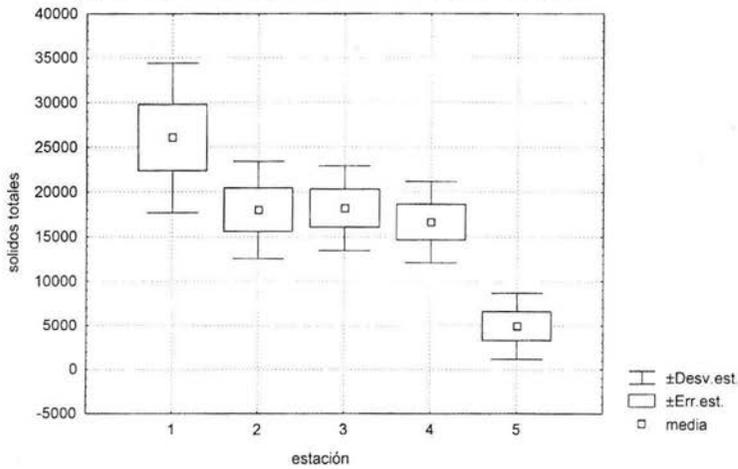


Figura 16. Diagramas de caja por estación de muestreo para solidos totales.



6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL

6.2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COMPONENTES PRINCIPALES

A los datos obtenidos en los muestreos se les aplicó, primero, un análisis de componentes principales con el objeto de agrupar los parámetros en diferentes componentes de acuerdo a su similitud. Así tenemos que de este análisis se obtuvieron seis componentes, los cuales en conjunto explicaron el 82.99% de la variación total (Tabla 6).

El componente 1 explicó el 35.32% de la variación total y quedó constituido por los siguientes parámetros: sólidos totales, sólidos disueltos, salinidad, dureza total, dureza del calcio, dureza de magnesio y cloruros. El componente 2 explicó el 16.57% quedó constituido por la DBO₅ y SAAM. El componente 3 quedó integrado por la conductividad eléctrica, la temperatura y el oxígeno disuelto, este componente explicó el 14.21%. El componente 4 con 5.97% quedó constituido por los ortofosfatos; el componente 5 integrado por los coliformes totales y los coliformes fecales con un 5.78% y finalmente el componente 6 con un 5.14% formado por los sulfatos.

Como puede observarse, las variables que conforman cada uno de los componentes están relacionadas entre sí. Así, por ejemplo, en el componente 1, los materiales sólidos tanto en suspensión (minerales u orgánicos) como disueltos proceden de fuentes diversas. En el caso de los materiales sólidos de origen mineral (fosfatos, nitritos, nitratos, amoníaco, sulfatos y cloruros) estos provienen de los núcleos urbanos, las industrias y las zonas de cultivos agrícolas. El

principal efecto producido por estos materiales se manifiesta en las redes tróficas, debido a que la introducción de sales disueltas en exceso puede provocar un aumento en la productividad de un cuerpo acuático. Es por esta razón por la que el contenido de sales disueltas como los cloruros aumentan el contenido de los sólidos en un cuerpo de agua, especialmente de los sólidos disueltos (Botello, 1982; Robles, 2001; Pesson, 1978). Los sólidos totales están regidos fundamentalmente por la salinidad. En tanto que las sales inorgánicas que se encuentran presentes en la mayoría de los desechos industriales causan cierta “dureza” al agua que las contiene. La presencia de estos compuestos es sin duda el reflejo del importante arrastre que se efectúa por la red hidrológica que interconecta al Estado de Tabasco y en donde las lagunas costeras sirven como receptáculo final de todos los compuestos que son transportados por el lavado de tierras o por desechos que son vertidos a sus ríos, los cuales se encargan de llevarlos hacia la zona costera, principalmente las lagunas (Botello, 1982; De la Lanza, 1986).

En el componente 2, los detergentes tienen efectos de superficie, que alteran y desorganizan la superficie de las células de los organismos acuáticos. En el caso de los peces, la toxicidad de los detergentes radica, en sus propiedades físicas; es decir, la disminución de la tensión superficial del agua tiene por consecuencia una modificación de los cambios respiratorios en las branquias. Los detergentes ceden al agua, además, gran cantidad de fosfato que contribuye al aumento de la eutrofia de las aguas (Margalef, 1991; Pesson, 1978).

Estos compuestos no se encuentran de manera natural en los cuerpos de agua debido a que son productos de limpieza provenientes de las actividades humanas. Están relacionados con la demanda bioquímica de oxígeno porque presentan fenómenos de autodepuración a expensas de la degradación microbiana (De la Lanza, 1986) que se puede estimar por su DBO_5 .

La autodepuración es un proceso biológico que se da en los medios acuáticos y en el que intervienen un elevado número de microorganismos de distintos tipos que consumen una gran cantidad de oxígeno para mineralizar las sustancias orgánicas aportadas durante la polución. Después de su transformación, estas últimas serán eliminadas en la atmósfera o utilizadas por los vegetales (Pesson, 1978). Esto es lo que sucede en el caso favorable de un medio acuático bien aireado, como lo es la laguna de Mecoacán.

En el componente 3, el oxígeno disuelto está muy relacionado con la temperatura debido a que al aumentar la temperatura disminuye notablemente la solubilidad de este gas. Otras características fisicoquímicas tales como la salinidad, pH y turbiedad también afectan su solubilidad y desprendimiento de la interfase agua-atmósfera (Ramírez *et al.*, 1995). El componente 4 está integrado por los ortofosfatos; éstos son sustancias nutrientes considerados como factores limitantes para ciertas especies (Botello, 1982).

En el componente 5, las variables que lo integraron (coliformes totales y coliformes fecales) se encuentran muy relacionadas ya que estas variables constituyen el grupo de las bacterias indicadoras de contaminación bacteriológica. Estas variables se refieren a aspectos de contaminación debido a que el crecimiento urbano de la zona costera ha repercutido y deteriorado la biota acuática, a causa de la presencia de organismos patógenos como bacterias, virus, hongos y levaduras. Las bacterias que habitan normalmente en el tubo digestivo del hombre son

eliminadas en sus heces y su sola presencia en los medios acuáticos naturales, significa contaminación fecal; asimismo, algunos organismos acuáticos pueden concentrarlos (De la Lanza, 1986). Sin embargo, la ausencia del otro grupo indicador de contaminación, el de los estreptococos fecales, en este componente puede indicar que la contaminación no ha sido reciente (Botello, 1982).

El componente 6 formado por los sulfatos tiene importancia porque éstos proceden del lavado de terrenos circundantes especialmente del manglar y es una estimación desde las condiciones dulceacuícolas con 0.22 g/l equivalente a 220 mg/l hasta las condiciones netamente marinas con 2.22 g/l equivalente a 2,220 mg/l que se considera dentro del cuadro de la calidad de aguas naturales (De la Lanza, 1986). El sulfato puede proceder de la oxidación de los sulfuros que derivan de la descomposición de materia orgánica (Margalef, 1983).

Tabla 6. Resultados del análisis de componentes principales, el cual indica la interrelación existente entre las variables (parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos) que conforman los 6 componentes

Componente	Valor característico	Varianza explicada (%)	% de varianza acumulado	Variabes que constituyen el componente
1	8.47	35.32	35.32	Sólidos totales, sólidos disueltos, salinidad, dureza total, dureza del calcio, dureza de magnesio, cloruros
2	3.97	16.57	51.89	DBO ₅ , SAAM
3	3.41	14.21	66.10	Conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto
4	1.43	5.97	72.07	Ortofosfatos
5	1.39	5.78	77.85	Coliformes totales, coliformes fecales
6	1.23	5.13	82.99	Sulfatos

6.3 ANÁLISIS DISCRIMINANTE

6.3.1 ANÁLISIS DISCRIMINANTE POR ESTACIÓN DE MUESTREO

De los datos obtenidos mediante el análisis discriminante (Tabla 7) se formaron cuatro funciones: la primera comprendida por los sólidos totales, salinidad y dureza total, la segunda función comprendida por los coliformes totales y coliformes fecales, la tercera función por el oxígeno disuelto y ortofosfatos y la cuarta función por la DBO₅ y sulfatos. Sin embargo, sólo la

primera función resultó estadísticamente significativa ($P < 0.05$) explicando el 61.4% de la variación total de los datos.

Para comparar las cinco estaciones de muestreo se calcularon, a partir de la matriz de datos del análisis discriminante, las distancias de Mahalanobis con su respectivo nivel de significancia observada, la cual se muestra en la tabla 8 y figura 17.

Se puede observar que la estación 1 (desembocadura al mar) fue diferente a la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) ya que la distancia entre ellas, de 79.31, resultó estadísticamente significativa ($P = 0.006$), mientras que con relación a la estación 1 resultaron con características similares las estaciones 2, 3 y 4 (estación petrolera Dos Bocas, serie de canales y la laguna) con niveles de significancia mayores a 0.05 (Tabla 8).

La estación 1 que corresponde a la desembocadura al mar y la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) fueron diferentes entre sí debido en la primera a la influencia de aguas marinas sobre las aguas lagunares, mientras que en la segunda, a la influencia del agua dulce procedente de los ríos que desembocan en la laguna.

Por otra parte, las estaciones 2, 3 y 4 presentaron similitud entre ellas a pesar de que se encuentran distribuidas a lo largo de la laguna; ésto podría atribuirse a que el agua marina proveniente del Golfo de México se diluye en la laguna con el agua dulce transportada por los ríos (Botello, 1978), lo que crea condiciones muy similares entre dichas estaciones.

Así, la distancia de Mahalanobis que guarda la estación 1 (desembocadura al mar) con el resto de los lugares es la siguiente: 14.53 con la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas), 15.45 con la estación 3 (serie de canales), 25.91 con la estación 4 (laguna) (Tabla 8).

Sin embargo, las condiciones naturales de un cuerpo acuático influyen sobre el estado de los contaminantes y sus efectos, y están constituidas por un grupo de factores físicos como: mareas, corrientes, naturaleza del fondo, perfil de la costa, tipo de sedimentos, etc (Botello, 1982).

En la figura 17 se muestra el diagrama de dispersión para los lugares de muestreo, en el cual se aprecian cinco grupos, los cuales corresponden a los lugares de muestreo. Las estaciones 2, 3 y 4 (estación petrolera Dos Bocas, serie de canales y laguna) se encuentran agrupados. La estación 1 (desembocadura al mar) se encuentra más separada de las estaciones 2, 3 y 4 al igual que la estación 5 (desembocadura del río Escarbado), esta última estación con una distancia de Mahalanobis de 79.31.

En el análisis descriptivo se consideraron la DBO_5 , sólidos totales, salinidad, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto, ortofosfatos, SAAM, dureza total, sulfatos, coliformes totales y coliformes fecales como las variables más significativas al comparar las estaciones de muestreo.

De acuerdo con nuestro análisis, las estaciones de muestreo 1 y 5 fueron las que difirieron entre sí. Esto debido a las características de la laguna, en la que drenan dos cuerpos de agua de distinta

naturaleza como son el marino, proveniente del Golfo de México y el dulceacuícola de los distintos ríos (río Seco, río Cuzcuchapa y río Hondo o Escarbado) que desembocan en ella.

Lo anterior provocó que se diferenciara la estación 1 sólo de la estación 5; la estación 5 se diferenció por sus características dulceacuícolas, debido a la presencia del río Escarbado. En el resto de las estaciones de muestreo las condiciones fueron muy homogéneas, ya que en estas estaciones (2, 3 y 4) se da la mezcla de las dos masas de agua: marina y dulceacuícola, creando condiciones similares entre ellas.

Nuestro análisis discriminante consideró los sólidos totales, salinidad, dureza total, coliformes totales, coliformes fecales, oxígeno disuelto, ortofosfatos, DBO₅ y sulfatos como las variables más significativas al comparar las estaciones de muestreo (Tabla 7).

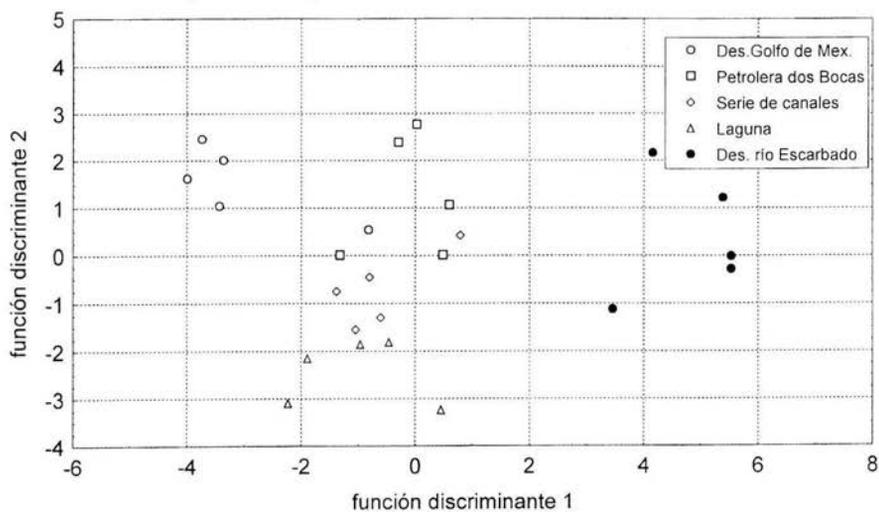
Tabla 7. Resultados del análisis discriminante por estación de muestreo, en donde se aprecia la formación de cuatro funciones y las variables que las conforman

Función	Valor característico	X ²	Nivel de significancia observada (P)	% de varianza acumulado	% explicado	Variables discriminatorias
1	8.49	64.77	0.05	61.4	61.4	Sólidos totales, salinidad, dureza total
2	2.62	29.88	0.62	93.4	32.0	Coliformes totales, coliformes fecales
3	0.58	9.44	0.97	98.3	4.9	Oxígeno disuelto, ortofosfatos
4	0.2011	2.84	0.97	99.0	0.7	Demanda bioquímica de oxígeno, sulfatos

Tabla 8. Distancias de Mahalanobis y niveles de significancia () observados entre las estaciones de muestreo

	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5
Estación 1	0.00 ---	14.53 (0.46)	15.45 (0.42)	25.91 (0.16)	79.31 (0.006)
Estación 2	14.53 (0.46)	0.00 ---	9.81 (0.70)	18.89 (0.31)	33.70 (0.09)
Estación 3	15.45 (0.42)	9.81 (0.70)	0.00 ---	7.13 (0.85)	39.59 (0.06)
Estación 4	25.91 (0.16)	18.89 (0.31)	7.13 (0.85)	0.00 ---	53.11 (0.02)
Estación 5	79.31 (0.006)	33.70 (0.09)	39.59 (0.06)	53.11 (0.02)	0.00 ---

Figura 17. Diagrama de dispersión por estación de muestreo.



6.3.2 ANÁLISIS DISCRIMINANTE POR MUESTREO

Los resultados obtenidos en el análisis discriminante por muestreo mostraron la formación de cuatro funciones, las cuales resultaron estadísticamente significativas ($P < 0.05$). La primera función explicó el 76.5% de la variación total de los datos y quedó integrada por la conductividad eléctrica y la temperatura; la segunda función explicó 18.6% quedando conformada por la DBO_5 y los sulfatos; la tercera función explicó el 3.2% formada por la dureza total y los coliformes fecales y la cuarta función explicó el 0.7% de la variación total de los datos quedando integrada por el oxígeno disuelto. En conjunto, estas cuatro funciones explicaron el 99.0% de la variación total (Tabla 9).

Para poder comparar los cinco meses de muestreo también se obtuvieron las distancias de Mahalanobis con sus respectivos niveles de significancia observadas, las cuales se muestran en la tabla 10.

En los resultados de comparación entre los muestreos se aprecia la existencia de diferencias significativas ($P < 0.05$) entre todos los muestreos, excepto entre el segundo muestreo efectuado en el mes de abril de 1997 y el cuarto muestreo realizado en el mes de agosto de 1997.

En el diagrama de dispersión (figura 18) se aprecia que los meses de enero de 1997 y noviembre de 1997 son los que se encuentran más aislados del resto de los muestreos, estando más cerca del muestreo 1 (enero de 1997) el muestreo 2 (abril de 1997), así como el muestreo 4 (agosto de 1997) y el muestreo 3 (junio de 1997) con distancias de Mahalanobis de 200.42, 206.01 y 237.09 respectivamente. Otro grupo apartado lo constituye el muestreo 5 (noviembre de 1997) estando más cerca de este muestreo el muestreo 2 (abril de 1997), con una distancia de 54.53, le sigue el muestreo 4 (agosto de 1997) con una distancia de 60.33 y por último el muestreo 3 (junio de 1997) con distancias de Mahalanobis de 98.12.

De acuerdo a lo anterior, también entre los muestreos existieron diferencias significativas, lo cual es justificado por las innumerables condiciones que prevalecían en el momento de realizar los muestreos (secas, lluvias). Un ejemplo de las diferencias que existieron entre los muestreos lo constituye el muestreo 5 en el cual se presentó un evento climático importante en la región, el huracán Paulina, el cual provocó que aún tratándose de dos muestreos efectuados en época de lluvias como lo fueron el muestreo 4 y 5, este último difiriera del muestreo anterior.

En el análisis se consideró la conductividad eléctrica, temperatura, DBO_5 , sulfatos, dureza total, coliformes fecales y oxígeno disuelto como las variables más significativas al comparar los muestreos (Tabla 9).

Lo anterior debido a que el muestreo 1 correspondió a la temporada de sequías durante los primeros meses invernales mientras que el muestreo 5 correspondió a la época de lluvias. Esto provocó diferentes condiciones climáticas en la laguna. A pesar de que el muestreo 4 también correspondió a la temporada de lluvias, difirió del 5 debido a que en el muestreo 4 el inicio de la temporada de lluvias se dio de manera tardía, lo que provocó que las condiciones de la laguna se mantuvieron similares a los muestreos 2 y 3, efectuados en época de secas. Por otra parte, otro factor que diferenció al muestreo 4 del 5 fue, como se señaló, la presencia del huracán Paulina.

De acuerdo con este análisis, todos los muestreos difirieron entre sí aunque existieron mayores diferencias entre el muestreo 1 y el muestreo 3 con relación al resto de los muestreos e incluso ambos muestreos (1 y 3) fueron diferentes entre sí.

Tabla 9. Resultados del análisis discriminante por muestreo, apreciándose la formación de cuatro funciones y las variables que las conforman

Función	Valor característico	X ²	Nivel de significancia observado (P)	% explicado	% de varianza acumulado	Variables discriminatorias
1	31.87	221.65	0.0	76.5	76.5	Conductividad eléctrica, temperatura
2	7.74	111.64	0.0	18.6	95.1	DBO ₅ , sulfatos
3	1.32	43.33	0.00025	3.2	98.3	Dureza total, coliformes fecales
4	0.71	16.85	0.0184	0.7	99.0	Oxígeno disuelto



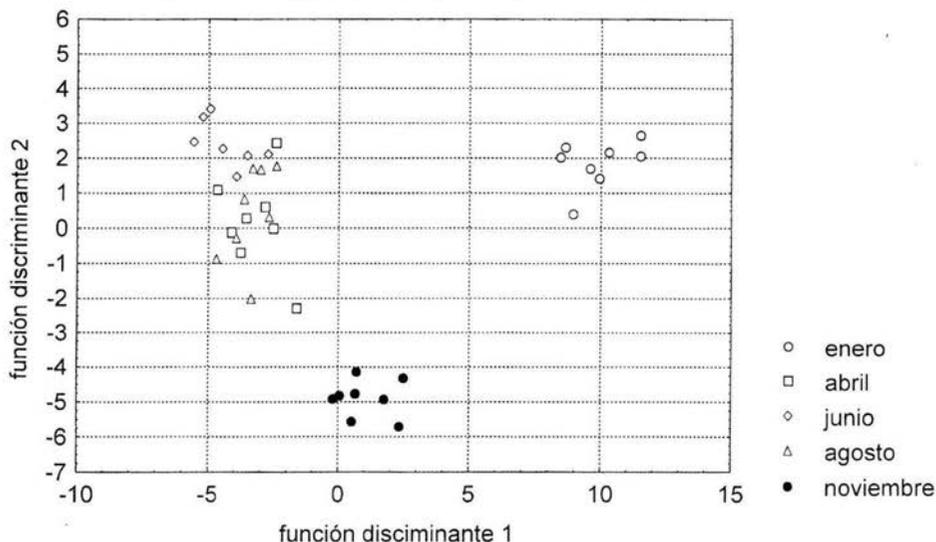
IZT.

U.N.A.M. CAMPUS

Tabla 10. Distancias de Mahalanobis y niveles de significancia () observados entre los muestreos.

Muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
Muestreo 1 (Enero, 1997)	0.00 ---	200.42 (0.00)	237.09 (0.00)	206.01 (0.00)	141.31 (0.00)
Muestreo 2 (Abril, 1997)	200.42 (0.00)	0.00 ---	17.21 (0.001)	7.59 (0.08)	54.53 (0.00)
Muestreo 3 (Junio, 1997)	237.09 (0.00)	17.21 (0.001)	0.00 ---	18.29 (0.0007)	98.12 (0.00)
Muestreo 4 (Agosto, 1997)	206.01 (0.00)	7.59 (0.08)	18.29 (0.0007)	0.00 ---	60.33 (0.00)
Muestreo 5 (Noviembre, 1997)	141.31 (0.00)	54.53 (0.00)	98.12 (0.00)	60.33 (0.00)	0.00 ---

Figura 18. Diagrama de dispersión por muestreo.



6.4 RELACIÓN COLIFORMES FECALES/ESTREPTOCOCOS FECALES

Para evaluar el origen de la contaminación fecal en el agua de la laguna de Mecoacán, se utilizaron los datos de las medias de los logaritmos de las bacterias coliformes fecales y estreptococos fecales, con ellos se calculó la relación CF/EF cuyos resultados se presentan en la tabla 11.

Como se puede observar en la tabla 11, la estación 1 (desembocadura al Golfo de México) presentó valores < 0.7 en todos los muestreos por lo que la contaminación fecal en ese lugar siempre fue de origen animal. En la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas) predominó el origen animal en cuatro muestreos, ya que, aunque en uno de los muestreos se presentó el valor de la relación > 0.7 , éste fue muy cercano a dicho valor (0.9286); por ello en este muestreo también se consideró la contaminación como de origen animal. Sólo en el muestreo 5 (lluvias) efectuado en el mes de noviembre la contaminación fecal fue claramente de origen humano ya que se obtuvo un valor de 7.6 en la relación CF/EF.

Por lo que respecta a la estación 3 (serie de canales) la tendencia durante casi todos los muestreos fue de origen animal, con excepción del muestreo 5 del mes de noviembre (lluvia) que al igual que en la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas) el origen fue totalmente humano.

La estación 4 (laguna) presentó sólo dos muestreos con contaminación fecal de origen humano y en el resto de los muestreos fue de origen animal.

Por último la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) fue la que presentó tres muestreos de origen humano y los otros dos con tendencia a una mezcla de humano y animal.

De estos resultados podemos concluir que la estación 1 (desembocadura al Golfo de México) es la zona más alejada de la contaminación fecal de origen humano, ya que de acuerdo a la relación CF/EF sólo se pudo apreciar la de origen animal.

En seguida, las estaciones 2 y 3 también se pueden considerar en general libres de contaminación humana aunque quizá en alguna medida su cercanía con las estaciones 4 (laguna) y 5 (desembocadura del río Escarbado) le ocasionen que en época de lluvias y con los vientos se lleguen a mezclar con la contaminación humana, como de hecho sucedió en ambas estaciones en dicho periodo de muestreo.

Por último las estaciones 4 (laguna) y 5 (desembocadura del río Escarbado) son las que presentaron más contaminación de origen humano (en especial la 5) durante la mayor parte de los muestreos; ésto debido básicamente a su cercanía con fuentes de contaminación humana como son el aporte de agua de los ríos Tilapa, la Nayarita y Seco que desembocan en la laguna de Mecoacán, cuyas aguas contienen gran cantidad de material orgánico particulado en suspensión al que van adheridas cantidades muy variadas de bacterias (Botello, 1982; Rodríguez y Romero, 1981).

La mezcla de agua que no permite determinar el origen de la contaminación en la laguna de Mecoacán (estaciones 2, 3, 4 y 5) se debe probablemente a la distribución tan irregular de las poblaciones de coliformes fecales y estreptococos fecales, la cual puede relacionarse con los detritos orgánicos (aves y mamíferos), que son transportados hacia las lagunas por el agua de lluvia y posteriormente transportadas por las corrientes lagunares (Romero y Rodríguez, 1982).

Tabla 11. Relación coliformes fecales/estreptococos fecales

Muestreo	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5
1	0.1176 Fecal animal	0.0041 Fecal animal	0.0182 Fecal animal	8.2500 Fecal humana	9.8000 Fecal humana
2	0.0018 Fecal animal	0.0143 Fecal animal	1.0000 Mezcla de agua	0.7647 Mezcla de agua	6.5000 Fecal humana
3	0.0025 Fecal animal	0.9286 Mezcla de agua	0.0408 Fecal animal	8.4615 Fecal humana	7.0000 Fecal humana
4	0.0182 Fecal animal	0.0909 Fecal animal	1.2000 Mezcla de agua	0.0870 Fecal animal	2.5000 Mezcla de agua
5	0.0018 Fecal animal	7.6087 Fecal humana	6.7500 Fecal humana	0.0606 Fecal animal	2.6923 Mezcla de agua

6.5 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Para conocer el grado de calidad del agua así como su uso más adecuado, se procedió a calcular el ICA (índice de calidad del agua) cuyos resultados se presentan en la tabla 12.

En general los valores del ICA obtenidos para las estaciones estudiadas fluctuaron entre 72.62 (estación 4, laguna) y 79.76 (estación 1, desembocadura al Golfo de México). De acuerdo con estos valores podemos decir que la calidad de esta agua es apta para la recreación, pesca y vida acuática, con excepción de la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) que presentó un ICA un poco más bajo que las demás (68.48) lo cual la hace aceptable para la recreación, pero no recomendable para la pesca y vida acuática con excepción de especies muy sensibles (Tabla 12).

En general podemos decir que el índice de calidad del agua nos proporciona el grado de contaminación de un cuerpo de agua; de acuerdo con esto, se puede decir que la laguna de Mecoacán presenta un grado de contaminación que no interfiere en el sostenimiento de su fauna y flora acuática. Sin embargo, debido a que la laguna es un centro piscícola y ostrícola importante a nivel regional y nacional del cual se obtienen especies de ostión, almeja, róbalo, camarón, lisa, pargo, jaiba y tiburón, entre otros (Granados *et al.*, 1992; Ramírez *et al.*, 1995); además del uso agrícola e industrial al que se le destina, pudiera estar en peligro de una mayor contaminación. Lo anterior se debe a que todas estas actividades, incluyendo las derivadas de los asentamientos humanos, producen distintos contaminantes que son vertidos a la laguna sin tratamiento previo, lo que pudiera ocasionar, con el tiempo, un mayor deterioro de la calidad del agua. Esto ya se empieza a ver en la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) la cual tiene un menor grado de aceptabilidad en su calidad en relación con las demás.

Tabla 12. Índice de calidad del agua

Estaciones	ICA anual	Usos del agua de la laguna de Meacoacán	Usos del agua según el índice de calidad del agua
1	79.76	Importante centro piscícola y ostrícola. Explotación de peces, crustáceos y moluscos. Obtención de especies de ostión, almeja, róbalo, camarón, lisa, pargo, jaiba, tiburón, entre otros. Uso agrícola e industrial entre el cual destaca la industria petrolera.	Abastecimiento público: mayor necesidad de tratamiento. Recreación: aceptable para cualquier deporte acuático. Pesca y vida acuática: aceptable para todos los organismos. Industrial y agrícola: ligera purificación para algunos procesos. Navegación: aceptable. Transporte de desechos tratados: aceptable.
2	74.52	Importante centro piscícola y ostrícola. Explotación de peces, crustáceos y moluscos. Obtención de especies de ostión, róbalo, camarón, lisa, pargo, jaiba, tiburón, entre otros. Uso agrícola e industrial entre el cual destaca la industria petrolera.	Abastecimiento público: mayor necesidad de tratamiento. Recreación: aceptable para cualquier deporte acuático. Pesca y vida acuática: aceptable para todos los organismos. Industrial y agrícola: ligera purificación para algunos procesos. Navegación: aceptable. Transporte de desechos tratados: aceptable.
3	76.58	Importante centro piscícola y ostrícola. Explotación de peces, crustáceos y moluscos. Obtención de especies de ostión, almeja, róbalo, camarón, lisa, pargo, jaiba, tiburón, entre otros. Uso agrícola e industrial entre el cual destaca la industria petrolera.	Abastecimiento público: mayor necesidad de tratamiento. Recreación: aceptable para cualquier deporte acuático. Pesca y vida acuática: aceptable para todos los organismos. Industrial y agrícola: ligera purificación para algunos procesos. Navegación: aceptable. Transporte de desechos tratados: aceptable.
4	72.62	Importante centro piscícola y ostrícola. Explotación de peces, crustáceos y moluscos. Obtención de especies de ostión, almeja, róbalo, camarón, lisa, pargo, jaiba, tiburón, entre otros. Uso agrícola e industrial entre el cual destaca la industria petrolera.	Abastecimiento público: mayor necesidad de tratamiento. Recreación: aceptable para cualquier deporte acuático. Pesca y vida acuática: aceptable para todos los organismos. Industrial y agrícola: ligera purificación para algunos procesos. Navegación: aceptable. Transporte de desechos tratados: aceptable.
5	68.48	Importante centro piscícola y ostrícola. Explotación de peces, crustáceos y moluscos. Obtención de especies de ostión, almeja, róbalo, camarón, lisa, pargo, jaiba, tiburón, entre otros. Uso agrícola e industrial entre el cual destaca la industria petrolera.	Abastecimiento público: mayor necesidad de tratamiento. Recreación: aceptable pero no recomendable. Pesca y vida acuática: excepto para especies muy sensibles. Industrial y agrícola: sin tratamiento para industria normal. Navegación: aceptable. Transporte de desechos tratados: aceptable.

6.6 INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

Para poder evaluar los coliformes totales, fecales y los estreptococos fecales sus valores fueron transformados en medias geométricas (Tabla 13).

En la laguna de Mecocacán los valores de las medias geométricas más altos para los coliformes totales y fecales se detectaron en las zonas urbanas que rodean a la laguna (estación 5), mientras que el valor más alto de las medias geométricas de los estreptococos fecales se detectó en la estación 1 (desembocadura al Golfo de México). En este último caso las altas poblaciones bacterianas pueden atribuirse al arrastre de excrementos de animales silvestres (mamíferos y aves) por el agua de lluvia, los cuales son posteriormente dispersados por las corrientes de los ríos y por la influencia de la corriente marina en la laguna (Romero y Rodríguez, 1986).

Como se puede observar en la tabla 13, los valores de las medias geométricas para los coliformes totales fueron de 43.42 NMP/100 ml para la estación 1 (desembocadura al Golfo de México), 87.21 NMP/100 ml para la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas), 11.80 NMP/100 ml para la estación 3 (serie de canales), 14.99 NMP/100 ml para la estación 4 (laguna) y 243.15 NMP/100 ml para la estación 5 (desembocadura del río Escarbado).

En cuanto a los coliformes fecales, la estación de muestreo 1 (desembocadura al Golfo de México) presentó una media geométrica de 5.02 NMP/100 ml, la estación 2 (estación petrolera Dos Bocas) de 12.94 NMP/100 ml, la estación 3 (serie de canales) de 4.19 NMP/100 ml, la estación 4 (laguna) de 17.99 NMP/100 ml y la estación 5 (desembocadura del río Escarbado) de 27.45 NMP/100 ml (Tabla 13).

Como se puede observar en la tabla 13, los valores de las medias geométricas para los estreptococos fecales fueron de 710.46 NMP/100 ml para la estación 1 (desembocadura al Golfo de México), de 99.43 para la 2 (estación petrolera Dos Bocas), de 11.66 para la 3 (serie de canales), para la 4 (laguna) de 23.19 y de 5.53 para la 5 (desembocadura del río Escarbado).

Comúnmente estas bacterias desaparecen en un período de tiempo variable, al ser mezclados con aguas salobres, de acuerdo con condiciones fisicoquímicas como la temperatura, la salinidad, y la influencia de las corrientes (Romero y Rodríguez, 1982).

Por tanto, es debido a estos fenómenos de dilución que se pueden explicar las diferencias en los niveles de contaminación bacteriana en un cuerpo acuático. Por una parte, como resultado de las corrientes de los ríos y de las corrientes marinas que circulan al sistema lagunar y también como resultado de fenómenos de sedimentación que van sufriendo las poblaciones bacterianas adheridas al material particulado que se encuentra en suspensión, principalmente durante la estación lluviosa (Centro de Ecodesarrollo, 1981; Romero y Rodríguez, 1986).

Tabla 13. Medias geométricas de los Indicadores bacteriológicos

Estación	Coliformes totales	Coliformes fecales	Estreptococos fecales
1	43.42	5.02	710.46
2	87.21	12.94	99.43
3	11.80	4.19	11.66
4	14.99	17.99	23.19
5	243.15	27.45	5.53

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. De acuerdo con el índice de calidad del agua, la laguna de Mecoacán presenta un grado de contaminación bajo que permite el sostenimiento de su flora y fauna acuática.
2. La presencia de bacterias indicadoras de contaminación (coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales) indicó que la laguna de Mecoacán presenta contaminación por desechos fecales de origen animal y humano. La contaminación por desechos fecales de origen humano proviene de los asentamientos humanos cercanos a la laguna cuyos desechos son vertidos sin tratamiento previo al cuerpo acuático. La distribución de la contaminación fecal humana y animal fue atribuida a fenómenos de dilución y sedimentación provocadas por las corrientes marinas, por las corrientes dulceacuícolas, por las lluvias y, en menor medida, a los vientos, debido a la influencia que tienen todos estos factores en la circulación lagunar. Esto es importante porque estas bacterias son un indicador de la presencia de bacterias patógenas de origen intestinal que pueden representar un peligro para la salud humana.
3. El análisis estadístico inferencial de componentes principales y discriminante permitió describir el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos utilizados para evaluar la calidad del agua de la laguna de Mecoacán. Con base en esto se puede afirmar que la laguna presenta algunos problemas de contaminación de origen antropogénico, dado que se detectaron sustancias como los detergentes, los cuales provienen de las actividades humanas (aguas negras de origen doméstico).
4. Las interacciones entre diferentes parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos varían de acuerdo con los cambios en las condiciones ambientales.
5. El índice de calidad del agua, la relación CF/EF, los indicadores de contaminación, y los análisis estadísticos descriptivo e inferencial, permitieron evaluar de manera global las condiciones de la laguna de Mecoacán en relación a la calidad del agua. De acuerdo a lo anterior se concluyó que la laguna presenta cierto deterioro en la calidad de su agua, debido a que presentó contaminación proveniente de diferentes fuentes (actividades recreativas, actividades piscícolas y ostrícolas, actividades agrícolas e industriales, descargas de aguas negras de origen doméstico, entre otros) y aunque este deterioro todavía es leve, como se empezó a hacer notar en la estación 5, si no se toman las medidas necesarias, estas zonas se irán degradando cada vez más hasta ser destruidas totalmente.

Por tanto se propone una evaluación periódica de la laguna de Mecoacán que contemple las alternativas disponibles para evitar un mayor deterioro de la calidad del agua de este cuerpo de agua.

6. Se propone como alternativas para detener el deterioro de la laguna de Mecoacán, la regulación de los derrames de petróleo tanto en el agua como en el suelo y la vegetación, ya que éstos normalmente provienen de los campos petroleros que circundan a la laguna; también es importante someter a un tratamiento previo, los desechos que son vertidos a la laguna; por último, detener la tala del manglar porque este constituye un sitio de refugio y reproducción para especies marinas de importancia comercial.

8. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, G. F. A., 1977, Contribución al conocimiento hidrológico de la laguna Mecoacán, Puerto Ceiba, Tabasco, (Tesis profesional), UABC, 83 pp.

Ake, C. J., Meave del C., M. E. y Hernández, B. D. U., 1994, "Morfología y distribución de especies de la diatomea del género *Skeletonema* en una laguna tropical", Res. VII Sompac.

Alcocer, D. J. y Escobar, B. E., 1990, "Problemática de terminología limnológica en estudios de contaminación acuática epicontinental", Memorias del VI Curso y Simposio Internacional sobre Biología de la Contaminación, México, UNAM, p. 23.

Alvarado, A. C. J. y Granados, B. A. A., 1991, "Las jaibas del género *Callinectes* de la laguna Mecoacán, Paraíso, Tabasco, México", Res. XI Congr. Nal. Zool. Cartel 13.

APHA, AWWA y WPCF, 1992, Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, España, Ediciones Díaz de Santos, pp. 2-38--9-127.

Arenas-Fuentes, V. y La Lanza, E. G. de, 1990, "El metabolismo como determinante de intercambio de nutrientes en sedimentos ricos en materia orgánica en una laguna costera", Cienc. Mar., 16: 45-62.

Assis-Esteves, F. de, Barbieri, R., Hiromi-Ishii, I. y Monteiro-Camargo, A. F., 1983, "Limnological surveys in some coastal lagoons of Rio de Janeiro State", Annals of the 3rd Regional Seminar of Ecology, pp. 25-38.

Aznar, R., Garay, C. A. E. y Alcaide, E., 1991, "Physico-chemical and bacteriological parameters in a hypereutrophic lagoon (Albufera Lake, Valencia, Spain)", Zentralbl. Mikrobiol., 146: 311-321.

Bales, R. y Conklin, M., 1997, Investigación de hidrología: una investigación de aprendizaje de GLOBE, s.l., s.n., 60 pp.

Baleux, B., Trousselier, M., Got, P., Monfort, P., Alibou, J. y Mezrioui, N., 1988, "The fate of pollution-indicator and pathogenic bacteria of continental origin in the water, sediment and shellfish farms of a brackish lagoon", Oceanis Doc. Oceanogr., 14: 61-70

Balogun, J. K., 1987, "Seasonal fluctuations of salinity and fish occurrence in and around Epe Lagoon, Nigeria", Afr. J. Ecol., 25: 55-61.

Bañuelos, R. I. S., 1982, Variación estacional de la contaminación bacteriana coliforme en tres lagunas costeras del estado de Tabasco, México, (Tesis profesional), Fac. Ciencias de la UNAM, 34 pp.

Bebianno, M. J., 1995, "Effects of pollutants in the Ria Formosa Lagoon, Portugal", Sci. Total Environ., 171: 107-115

Botello, V. A., 1978, "Variación de los parámetros hidrológicos en las épocas de sequía y lluvias (mayo y noviembre de 1974) en la laguna de Términos, Campeche, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 5: 159-178.

Botello, V. A., 1981, Niveles actuales de hidrocarburos disueltos en los sistemas lagunares del Estado de Tabasco, México, (Informe final presentado al Centro de Ecodesarrollo), México, UNAM, Centro de Ciencias del Mar y Limnología, 24 pp.

Botello, V. A., Castro, A. S. y La Torre P. A. de., 1981, Niveles actuales de hidrocarburos disueltos en los sistemas lagunares del estado de Tabasco, México, (Informe final), México, ICMYL-UNAM, 20 pp.

Botello, V. A., 1982, Niveles actuales de compuestos organoclorados, desechos industriales y coliformes en los sistemas lagunares costeros del Estado de Tabasco, (Informe técnico), Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 59 pp.

Bouchriti, N., El-Marrakchi, A. y Fahim, A., 1992a., "The microbiological contamination of an oyster growing area in Morocco: The Oualidia Lagoon, Morocco", Hydroecol. Appl. 4 : 189-202.

Bouchriti, N., El-Marrakchi, A., Fahim, A. y Goyal, S. M., 1992b., "A bacteriological survey of an oyster-growing area: The Oualidia Lagoon, Morocco", World J. Microbiol. Biotechnol., 8: 546-549.

Camacho, R. P., Flores, R., Fores, F., Salas, A., Juárez, A., Vega, J., Lara, M. y Licea, S., 1994, "Ciclo circadiano del fitoplancton de la laguna de Sontecomapan, Veracruz (octubre-1993)", Res. VII SOMPAC.

Casablanca-Chassany, M. L., de., Semroud, R., Samson-Kechacha, F. L. y Boonne, C., 1991, "Spatio-temporal study of nutrients and principal hydrobiological variables on a Mediterranean coastal; Lake Mellah (Algeria)", Mesogee Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille., 51: 15-23.

Casablanca-Chassany, M. L. de., Boonne, C. y Semroud, R., 1990, "Principal component analysis of relationships between physicochemical variables in a Mediterranean lagoon", C.R. Hebd. Seances Acad. Sci. III, Paris., 310: 397-403.

Castel, J., Caumette, P. y Herbert, R., 1996, "Eutrophication gradients in coastal lagoons as exemplified by the Bassin d'Arcachon and the Etang du Prevost", Hidrobiología, 329: ix-xxviii.

Castro, G. S., 1981, Determinación de los niveles de hidrocarburos en sedimentos recientes y en el ostión *Crassostrea virginica* de la laguna Mecoacán, Tabasco, México, (Tesis profesional), Facultad de Ciencias de la UNAM, 134 pp.

CECODES, 1981, Las lagunas costeras de Tabasco. Un ecosistema en peligro, México, Centro de Ecodesarrollo, 109 pp.

Centro de Ecodesarrollo, 1981, Las lagunas costeras de Tabasco: un ecosistema en peligro, México, Centro de Ecodesarrollo, 96 pp.

Cioffi, F., Di-Eugenio, A. y Gallerano, F., 1994, "Simulation model for forecasting anoxic crisis in lagoons", en Zannetti, P. (ed.), Computer techniques in environmental studies 5. Volume 1: Pollution modeling., Billerica, USA Computational Mechanics, INC., pp. 107-120.

Contreras, E. F., 1985, Las lagunas costeras mexicanas, México, Centro de Ecodesarrollo, 253 pp.

Contreras, E. F., 1993, Ecosistemas costeros mexicanos, México, UAM Iztapalapa, 415 pp.

Contreras, E. F. y Zabalegui, M. L., 1988, El aprovechamiento del litoral mexicano, México, Centro de Ecodesarrollo de la Secretaría de Pesca, 128 pp.

Contreras, E. F. y Zabalegui, M. L., 1991, "Hidrología, nutrientes y productividad primaria en la laguna La Joya-Buenavista, Chiapas, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 18: 207-215.

Cruz, R., 1968, "Geología marina de la laguna Tamiahua, Veracruz, México", Inst. Geol., 88: 47.

Cruz-Orozco, R., Rojo-García, P., Godínez-Orta, L. y Nava-Sánchez, E., 1989, "Topografía, hidrología y sedimentos de las márgenes de la laguna de La Paz, B.C.S.", Rev. Invest. Cient. Univ. Auton. Baja Calif. Sur. Ser. Cien. Mar., 1: 3-15.

Dassenakis, M., Krasakopoulou, E. y Matzara, B., 1994, "Chemical characteristics of Aetoliko Lagoon, Greece, after an ecological shock", Mar. Pollut. Bull., 28: 427-433.

Díaz, G. G., Vázquez, B. A. y Ponce, V. G., 1994, "Contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) disueltos en la laguna de Mecoacán, Tabasco, México", Hidrobiológica, 4: 21-27.

Dojlido, J., 1993, Chemistry of water and water pollution, Inglaterra, Ellis Horwood Limited, 363 pp.

Domínguez, M. y Castillo, O., 1993, “Estado actual del estrato arbóreo y algunos aspectos fisicoquímicos de los manglares de la laguna de Mecoacán”, XII Congr. Mex. de Botánica, 81 pp.

Ezcurra, E. y López, P. J., 1980, “Los bosques de manglar como recurso natural: Un estudio cuantitativo”, Res. I Congr. Sobre Problemas Ambientales en México, 14 pp.

Flahuat, S., Boutibonnes, P. y Auffray, Y., 1997, “Les entérocoques dans l’environnement proche de l’homme”, Can. J. Microbiol., 43: 699-708.

Flores, H. A., 1993, Distribución de los estadios inmaduros de camarones (Crustacea:Penaeidae) en la laguna de Mecoacán, Tabasco, (Tesis profesional), Fac. de Ciencias de la UNAM.

Freeman, B. A., 1989, Microbiología de Burrows, 22ª. ed., México, Interamericana-McGraw-Hill, 1181 pp.

Galaviz-Solís, A., Gutiérrez-Estrada, M. y Castro del Río, A., 1987, “Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas Dos Bocas y Mecoacán, Tabasco, México”, An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 14: 109-124.

Gárate-Lizárraga, I., Verdugo-Díaz, G. y Siqueiros-Beltrones, D. A., 2001, “Variación de las asociaciones fitoplanctónicas durante 1988/1989 en un sistema lagunar subtropical de la costa oeste de México”, Océanides, 16.

García, I. A., 1988, La fauna sésil asociada a las raíces de *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo) en la laguna de Mecoacán, Tabasco, (Tesis profesional), Fac. Cienc. de la UNAM, 105 pp.

García-Cubas, A., Escobar de la Llata, F., González, A. L. y Reguero, M., 1990, “Moluscos de la laguna Mecoacán, Tabasco, México: Sistemática y ecología”, An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 17:1-30.

Gastelum, G. J. O., 1979, Distribución superficial de las variables fisicoquímicas: T°C, S‰, O ml/l y pH; en la laguna de Mecoacán del estado de Tabasco, México, durante un ciclo anual, (Tesis profesional), UACB, 67 pp.

Gersberg, R. M., Matkovits, M., Dodge, D., McPherson, T. y Boland, J. M., 1995, “Etal opening of a coastal California lagoon: Effect on bacteriological quality of recreational ocean waters”, J. Environ. Health., 58: 24-28.

Gold, B. G., Zapata, P. O., Sima A. R. y Ceja, M. V., 1996, "Contaminantes tóxicos en las lagunas costeras de Tabasco, México", Res. X Congr. Nal. Oceanogr.

Gómez, A. H., 1977, "Determinación de corrientes en la laguna costera Mecoacán de Tabasco, México", Cienc. Mar, 4: 67-80.

Gómez, A. S. y Reséndez, M. A., 1986, "Notas sobre la hidrología del sistema de lagunas costeras Carmen-Machona-Redonda, Tabasco, 1976-1980", Univ. y Cienc., 3: 5-10.

González, Y. P., 1989, "Análisis ictioplanctónico de las familias *Engraulidae* y *Clupeidae* en la zona costera del sur del Golfo de México (1988)", Mem. XIII. Simp. Biol. de Campo. ENEP Iztacala, 27 pp.

González, A. C. y Montellano, B. M., 1997, "Ambientes sedimentarios", en García, P., Sour, F. y Montellano, M. (eds.), Paleontología, México, UNAM, pp. 91-117.

Granados, B. A. A., 1992, "Composición faunística de la laguna de Mecoacán, Tabasco", Res. III Reunión Alejandro Villalobos, 10 pp.

Granados, B. A. A., Madrigal, D. I. y Ramos P. J. L., 1992, "Moluscos de la laguna Mecoacán, Paraíso, Tabasco", Res. IX Congr. Nal. Oceanogr., 100 pp.

Granados, B. A. A., Priego M. B. C., Salvadores, B. M. L. y Ramos, P. J. L., 1992, "Fauna acuática de la laguna Mecoacán, Paraíso, Tabasco", Res. IX Congr. Nal. Oceanogr., 99 pp.

Greenwald, G. M. y Hurlbert, S. H., 1993, "Microcosm analysis of salinity effects on coastal lagoon plankton assemblages", Hidrobiología, 267: 307-335.

Guiral, D., Arfi, R. y Torreton, J. P., 1990, "Circumstances and consequences of the weakening of the density gradient in an eutrophic bay: The Bietri Bay (Ebrie Lagoon, Ivory Coast)", Rev. Hydrobiol. Trop., 23: 11-25.

Gutiérrez, C. T., 1996, Apuntes de ecología microbiana, México, IPN, 119 pp.

Guyoneaud, R., Matheron, R., Baulaigue, R., Podeur, K., Hirschler, A. y Caumette, P., 1996, "Anoxygenic phototrophic bacteria in eutrophic coastal lagoons of the French Mediterranean and Atlantic coasts (Prevost Lagoon, Arcachon Bay, Certes fishponds)", Hidrobiología, 329: 33-43.

Herrera-Silveira, J. A., 1994, "Correlaciones de parámetros hidrobiológicos de la laguna de Celestún, Yucatán", An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 21: 43-53.

Herrera-Silveira, J. A., 1996, "Salinity and nutrients in a tropical coastal lagoon with groundwater discharges to the Gulf of Mexico", Hydrobiología, 321: 165-176.

James, P. S. B. R. y Najmuddin, M., 1986, "Recent observations on physico-chemical characteristics of the lagoon along the Palk Bay at Mandapam with a note on the possibility of its utilization for large scale fish culture", Symp. Ser. Mar. Biol. Assoc. India., 6: 1039-1046.

Kouassi, A. M., Guiral, D. y Dosso, M., 1990, "Seasonal variations of microbial contamination of an estuarine tropical urban area. The case of the city of Abidjan (Ivory Coast)", Rev. Hydrobiol. Trop., 23: 181-194.

Ktari-Chakroun, F. y Romdhane, M. S., 1985, "Study of some physical and chemical parameters in the Ghar El Mgelh Lagoon", Bull. Inst. Sci. Tech. Oceanogr. Peche Salammbou., 12: 21-25.

La Cruz, A. G. de. y Navarrete, S. N., 1980, "Posibles efectos del impacto ambiental sobre la comunidad nectónica de la laguna de Mecoacán, Tabasco, México", Res. I Congr. Sobre Problemas Ambientales en México, p. 45.

La Lanza, E. G. de, 1986, "Calidad ambiental de la laguna de Mezcaltitán, Nayarit, México, durante el estiaje. Nota científica", An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 13: 315-328.

La Lanza, E. G. de. y Gómez, A. S., 1994, "Fitoplancton y nutrientes en la laguna de Mecoacán Tabasco en el período Enero-Mayo 93", Res. VII SOMPAC.

La Rosa, V. J. de, 1986, "Variabilidad genética poblacional en ostiones de la especie *Crassostrea virginica* del Golfo de México", Tesis doctoral, ICMYL, UNAM, 124 pp.

León, R. I. A. J., de, Pérez, Z. y Mendoza, V. H., 1987, "Diagnóstico microscópico de los parásitos del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1790) de la laguna Mecoacán, Tabasco", Inv. Mar. CICIMAR., 3: 97-104.

"Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente", 1989, Diario Oficial de la Federación, Tomo CDXXXV, no. 9, pp. 7-23, 13 de diciembre de 1989.

Li-Petrus, J., Manuel, J. de. y Cardona, L., 1992, "Temporal heterogeneity, zooplankton composition and fish food supply in the Albufera of Minorca, a highly fluctuant environment", Bull. Inst. Oceanogr. Monaco., SI: 179-188.

Lizárraga-Partida, M. L., Carballo, C. R., Izquierdo-Vicuña, F. B., Colwell, R. R. y Wong Chang, I., 1987, "Bacteriología de la laguna de Términos, Campeche, México", An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 14: 97-108.

Lobo, E. A., Leighton, G. y Ugarte, R., 1989, "Variación espacio-temporal de características químicas y físicas en aguas del sistema de desembocadura del estero Mantagua, Chile", Rev. Biol. Mar., 24: 161-174.

- López-Portillo, G. J. A., 1982, Ecología de manglares y de otras comunidades de halofitas en la costa de la laguna de Mecoacán, Tabasco, (Tesis profesional), Fac. Ciencias de la UNAM, 160 pp.
- López-Portillo, J. y Ezcurra, E., 1985, "Litter fall of *Avicennia germinans* L. in a one-year cycle in a mudflat at the Laguna de Mecoacán, Tabasco, México", Biotrópica, 17: 186-190.
- Lugioyo, G. G. M., Bellota, T. M. Y Miravet, R. M. E., 1999, "Distribución espacio-temporal de la biomasa bacterioplanctónica en aguas oceánicas al sur de Cuba", Oceánides, 13
- Maitland, P., 1990, Biology of fresh water, 2a. ed., USA, Chapman y Hall, pp. 1-33.
- Margalef, R., 1983, Limnología, España, Ediciones Omega, 1010 pp.
- Margalef, R., 1991, Ecología, España, Ediciones Omega, 951 pp.
- McNeill, A. R., 1992, "Recreational water quality", en Conell, D. S. y Hawker, D. W. (eds.), Pollution in tropical aquatic systems, Inglaterra, CRC Press, pp. 193-216.
- Méndez, U. N., 1997, "Poliquetos asociados a fondos blandos sujetos a enriquecimiento orgánico en el complejo lagunar de Topolobampo, Sinaloa, México", Oceánides, 12.
- Middelburg, J. J., Nieuwenhuize, J., Slim, F. J. y Ohowa, B., 1996, "Sediment biogeochemistry in an East African mangrove forest (Gazi Bay, Kenya)", Biogeochemistry, 34: 133-155.
- Millet, B. y Guelorget, O., 1993, "Relationships between benthic communities and physical environment in a lagoon ecosystem", J. Coast. Res., 9: 378-389.
- Monfort, P. y Baleux, B., 1991, "Distribution and survival of motile *Aeromonas spp.* in brackish water receiving sewage treatment effluent", App. Environ. Microbiol., 57: 2459-2467.
- Morales-Soto, J. C., Valdez-Holguín, J. E. y Cervantes-Duarte, R., 2001, "Cambio diario y estacional de la clorofila a y algunas variables fisicoquímicas en la laguna La Cruz, Sonora, México", Oceánides, 15.
- Orozco- Vega, H. y Dreckman, K. M., 1995, "Microalgas estuarinas del litoral mexicano del Golfo de México", Cryptogamie: Algol., 16: 189-198.
- Pérez-Castañeda, R. y Herrera-Dorantes, M. T., 2000, "Primer registro del camarón *Farfantepenaeus notialis* (Pérez-Farfante, 1967) en lagunas costeras del Golfo de México", Oceánides, 14.

Pérez-Ruzafa, A., Ros, J., Marcos, C., Ballester, R. y Pérez-Ruzafa, I. M., 1989, "Distribution and biomass of the macrophyte beds in a hypersaline coastal lagoon (the Mar Menor, SE Spain), and its recent evolution following major environmental changes", en Boudouresque, C. F., Meinesz, A., Fresi, E. y Gravez, V., (eds.), Marseille France Gis Posidonie, The Second International Workshop on Posidonia Beds, Ischia, Italy, pp. 49-62.

Pineda, M. D. S. y Schafer, A., 1987, "Adaptation of criteria and methods for evaluation of surface water quality based on the ecological study from de Gravatai River at Rio Grande do Sul, Brazil", Cienc. Cult. Sao Paulo., 39: 198-206.

Pesson, P., 1978, La contaminación de las aguas continentales. Incidencia sobre las biocenosis acuáticas, España, Ediciones Mundi-Prensa, 335 pp.

Ramírez, G. P., Cortes Muñoz, J. E., Sánchez, Ch. J. J. y Carlos, H. G., 1995, Nicho ecológico de *Vibrio cholerae* en el ambiente acuático vs. un estudio experimental, México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 117 pp.

Rebelo, J. E., 1992, "The ichthyofauna and abiotic hydrological environment of the Ria de Aveiro, Portugal", Estuaries., 15: 403-413.

Recio-Espejo, J. M., 1990, "Aspectos genéticos del fenómeno endorreico en el sur de España. La Laguna de el Conde (Luque, Cordoba)", Stud. Oecol., 7: 7-17.

Robles, V. E., Rivera, A. F., Gallegos, N. E. y Rivera, A. V., 1991, Técnicas de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua y aguas de desecho, México, ENEP Iztacala, 73 pp.

Robles, V. E., González, A. M. E. y Castro, P., 2001, Los contaminantes químicos y sus efectos, México, 80 pp., (inédito).

Rodríguez, S. H. y Botello, V. A., 1987, "Contaminación enterobacteriana en la red de agua potable y en algunos sistemas acuáticos del sureste de México", Contam. Ambient., 3: 37-53.

Rodríguez, S. H. y Romero, J. J., 1981, "Niveles de contaminación bacteriana en dos sistemas fluvio-lagunares asociados a laguna de Términos, Campeche", An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 9: 121-126.

Romero, J. J. y Rodríguez, S. H., 1982, "Niveles actuales de contaminación coliforme en el sistema lagunar del Carmen-Machona, Tabasco", An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 9: 121-126.

Romero, J. J., Ferrara- Guerrero, M. de J., Lizárraga- Partida, L. y Rodríguez-Santiago, H., 1986, "Variación estacional de las poblaciones de enterobacterias en la laguna de Términos, Campeche, México", An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 13: 73-86.

Rysgaard, S., Risgaard-Petersen, N. y Sloth, N. P., 1996, "Nitrification, denitrification, and nitrate ammonification in sediments of two coastal lagoons in southern France", Hidrobiología, 329: 133-141.

Salas G. R., 1986, Estudio hidrológico y nivel de alteración causado de organoclorados en las lagunas Mecoaacán y Carmen-Machona, Tabasco, México, (Tesis profesional), Fac. Ciencias de la UNAM, 44 pp.

Saliot, A., Bouloubassi, I., Lorre-Boireau, A., Trichet, J., Poupet, P. y Charpy, L., 1994, "Lipid composition of water and surface sediments in Takapoto Atoll lagoon (French Polynesia)", Coral Reefs, 13: 243-247.

Salvadares-Baledon, M. L. y Resendez-Medina, A., 1990, "Modificaciones en la composición ictiofaunística del sistema lagunar el Carmen-Machona Tabasco, por la apertura de Boca de Panteones", Univ. Cienc., 7: 5-13.

Santoyo, H. y Signoret, M., 1981, "Producción primaria planctónica de tres lagunas costeras de México", VII Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol., México.

SARH, 1978, Análisis de aguas y aguas de desecho, 4ª. ed., México, Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica, Subdirección del Área de Investigación y Entrenamiento, vol. I-III, 996 pp.

SARH, 1979, Índice de calidad del agua, México, Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica, pp. 99-104.

SEDUE, 1984, Estudio de percepción remota para la identificación de contaminantes por hidrocarburos en el estado de Tabasco, México, México, SEDUE, pp. 1-182.

SEDUE, 1984, Realización de análisis de laboratorio de las muestras resultantes en las visitas de inspección en los edos. de Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Yucatán, (Informe final), México, SEDUE, 123 pp.

Seoanez, C. M., 1995, "Ecología industrial: ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa", Manual para responsables medioambientales, España, Ediciones Mundi-Prensa/Análisis y Trabajos Prospectivos, 522 pp., (Col. Ingeniería medioambiental).

Signoret, M., Castro Aguirre, J. L. y Santoyo, H., 1981, "Análisis multifactorial de la producción planctónica de tres lagunas costeras de México", Resúmenes VII Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol., 42 pp.

Stukova, Z. y Sileryte, E., 1994, "Bacterioplankton of the Curonian Bay in 1980-1992", Ekologija Ehkologiya Ecology, 2: 46-54.

Toledo, A., (Coord.), 1981, Petróleo y ecodesarrollo en el sureste de México, México, CECODES, 253 pp.

Valdez-Holguin, J. E. y Martínez-Cordova, L. R., 1993, "Variabilidad de algunos parámetros fisicoquímicos y productividad primaria en la laguna La Cruz, Sonora, México", Rev. Biol. Trop., 41: 161-179.

Valenzuela, L. G. y Gómez, A. S., 1994, "Copépodos del plancton de Mecoacán, Tabasco en el periodo enero-mayo de 1993", Res. VII SOMPAC.

Valiente, E., 1987, "Importancia de los sistemas lagunares en acuicultura", Acuavisión, 2: 4-6.

Voznaya, N. F., 1987, Chemistry of water & microbiology, Rusia, Mir Publishers Moscow, 347 pp.